



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LAURA NIITTYLÄ
JOUKKOLIIKENTEEEN LIIKENNEVALOETUUKSIEN
VAIKUTUKSET TAMPEREELLA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Jorma Mäntynen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknis-taloudellisen tiedekunnan kokouksessa 11. tammikuuta 2012

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tietojohtamisen koulutusohjelma

NIITYLÄ, LAURA: Joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien vaikutukset Tampereella

Diplomityö, 92 sivua

Maaliskuu 2012

Pääaine: Logistiikka

Tarkastaja: professori Jorma Mäntynen

Avainsanat: Liikennevaloetus, joukkoliikenne, reaaliaikainen seuranta, aikataulusuunnittelu

Tässä työssä tutkitaan Tampereella vuoden 2011 aikana käyttöönotettujen joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien vaikutuksia ajoaikojen ja täsmällisyyden näkökulmasta. Työn alussa käsitellään teoriapainotteisesti liikennevaloetuuksien erilaisia toteutuksia ja näiden tutkittuja vaikutuksia liikenteelle eri kaupungeissa sekä Suomessa, että Euroopassa. Tämän jälkeen tarkastelussa syvennyttään analysoimaan Tampereen saatuja hyötyjä järjestelmän keräämän datan avulla.

Vaikutusten arvioinnissa merkittävässä roolissa on joukkoliikenteen täsmällisyyden ja aikataulujen ennustustarkkuuden vertailu ennen ja jälkeen liikennevaloetuuksien käyttöönottoa. Työ on rajattu keskittymään kahdelle paljon joukkoliikennettä sisältävälle alueelle Tampereella. Etuuksien vaikutuksia on tutkittu erilaisilla etuuksien myöntöperiaatteilla ja vertailtu näiden vaikutuksia toisiinsa. Saatujen tulosten avulla on tarkastelua laajennettu koskemaan tutkittujen linjojen koko pituutta, luoden arvioita todennäköisistä vaikutuksista koko reitin osalta siinä määrin, kun se on mahdollista. Jotta joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien vaikutukset saadaan esitettyä mahdollisimman monipuolisesti, tutkimuksessa käsitellään pääpiirteittäin myös henkilöautoille aiheutuvia viivytyksiä. Lisäksi esitetään esimerkkilaskelmia mahdollisista kustannussäästöistä, joita etuuksien avulla on mahdollista saavuttaa.

Etuuksien myötä huomattiin saavutettavan hyvin samankaltaisia tuloksia kuin muidenkin työssä esiteltujen järjestelmien avulla. Ajoajoissa ja täsmällisyydessä oli havaittavissa merkittävää parantumista. Saatujen tulosten perusteella kuitenkin huomattiin, että täsmällisyyden parantumisesta ja kustannussäästöistä on lähes mahdotonta esittää koko toiminnan laajuista arviota tarkkoina lukuina. Tämä johtuu pääsääntöisesti toisistaan selkeästi eroavista lähtötilanteista ja reitityksistä, joissa etuuksilla on hyvin erilaiset vaikutukset liittymän ajosuunnasta riippuen.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Information and Knowledge Management

NIITTYLÄ, LAURA: Impacts of Transit Signal Priorities in Tampere

Master of Science Thesis, 92 pages

March 2012

Major: Logistics

Examiner: Professor Jorma Mäntynen

Keywords: Public transportation, signal priority, real-time information, operations planning

This thesis presents the impacts of transit signal priorities in the city of Tampere, where a new transit signal priority and passenger information system has been implemented during 2011. The impacts are analysed focusing on journey times and punctuality, but also presenting the impacts on other traffic and cost-savings. In the beginning, different types of priority systems and solutions are presented, followed by introduction of a number of examples of existing priority systems, both in Finland and in Europe.

After the theoretical part we move to analyze the impacts of Tampere system, based on data gathered from the Tampere system. The study has been limited to focus only on two separate areas in Tampere, where public transport is strongly present and several intersections have priorities implemented. When analyzing the impacts, the focus is on changes of both punctuality and journey times. The impacts were studied using different settings for granting priorities and data from these settings was then compared with the situation where priorities were not implemented in order to determine the difference. The study was conducted in a small area, covering only a minor part of studied lines. However, based on the results, the impacts for the whole length could be estimated.

Based on this study, the impacts of Tampere system were similar to the impacts of other systems presented in this study. Punctuality increased significantly and journey times for the whole length of a line are estimated to be reduced by 5% on average on the lines included in the study. Based on the results it is clear that exact values are extremely challenging to present in terms of punctuality improvements and journey time savings in general, as there are too many variables to be taken into notice in almost every line.

ALKUSANAT

Tässä tulee ehkäpä koko työn vaikein osuus. Vajaa kuusi vuotta opintoja on takana ja nyt on aika jättää taas yksi vaihe elämässä taakse. Diplomityön tekeminen on ollut kuin opiskeluaika pähkinäkuoressa, on opittu uutta ja sovellettu vanhaa. Matkan varrella on koettu iloja ja suruja, epäonnistumisen ja onnistumisen tunteita, riemua ja epätoivoa. On ollut hetkiä, jolloin on tehnyt mieli lopettaa ja hetkiä, jolloin ei olisi malttanut lopettaa ollenkaan.

Se, että tähän pisteeseen asti on päästy, on vaatinut paljon niin minulta, kuin muiltakin. Haluankin kiittää tämän työn valmistumisesta ohjaavaa Professoria Jorma Mäntystä. Kiitos hyvistä neuvoista niin työn, kuin koko opiskelujeni ajalta ja mielenkiinnon syöttämisestä alaa kohtaan. Lisäksi työssä merkittävästi ovat auttaneet sekä Tampereen kaupungin edustajat, etenkin ohjaajana toiminut Mika Kulmala, että tietysti kollegani, jotka ovat tukeneet ja kannustaneet mahtavasti minua matkan aikana, sekä auttaneet aina hädässä. Kiitos teille kaikille, että teitte tämän mahdolliseksi.

Viimeisimpänä, muttei vähäisimpänä, kiitos vanhemmilleni, kiitos kaikesta mitä olette vuosien varrella tehneet vuokseni. Olette kaikesta päätellen tehneet jotain oikein ja vuosien pitkäjänteinen ja pitkähermoinen kasvatus ei ole mennyt ihan mönkään, tyttäres-tänne taitaa nimittäin tämän työn myötä tulla ihka oikea DI!

Tampereella 22.2.2012

Laura Niittylä

SISÄLLYS

Tiivistelmä	ii
Abstract	iii
Termit ja niiden määritelmät	vi
1 Johdanto	1
1.1 Tutkimuksen tausta	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset	2
1.3 Tutkimusmenetelmät	3
1.4 Tutkimuksen rakenne	5
2 Joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien historia ja nykytila	7
2.1 Joukkoliikenteen toimintaympäristö	7
2.2 Liikennevalo-ohjaus	8
2.2.1 Ohjauslogiikat	10
2.2.2 Ohjauksen laajuus	10
2.2.3 Ohjaustekniikat	12
2.2.4 Vaihejako	15
2.3 Joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien tavoitteet	16
2.4 Liikennevaloetuuksien toimintaperiaate	17
2.4.1 Toteutustavat	18
2.4.2 Ohjausstrategiat	24
2.5 Vaikutukset joukkoliikenteen toimintaan	29
2.6 Vaikutukset muuhun liikenteeseen	31
3 Aktiivisten liikennevaloetuuksien käyttö	33
3.1 Aktiiviset liikennevaloetuudet maailmalla	33
3.1.1 Tilanne yleisesti Euroopassa	33
3.1.2 Tilanne Suomessa	34
3.1.3 Esimerkkejä toteutuksista	34
3.2 Etuudet Tampereella	44
3.2.1 Tausta ja tavoitteet	45
3.2.2 Uusi liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä	45
4 Etuuksien vaikutukset Tampereella	49
4.1 Tutkimuksen esittely	49
4.1.1 Tutkittu alue	49
4.1.2 Tutkimuksen toteutus	53
4.2 Tulokset	55
4.2.1 Tilanne ilman etuusia	55
4.2.2 Etuudet kaikille ajoneuvoille	60
4.2.3 Etuudet myöhässä oleville ajoneuvoille	67
4.2.4 Vaikutus muuhun liikenteeseen	81
4.2.5 Etuuksien vaikutukset suunnittelun näkökulmasta	81
5 Yhteenveto ja päätelmät	86
Lähteet	90

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Etuusopastinryhmä	Liikennevaloliittymän opastinryhmä, jolle etuus pyritään järjestämään. Linjan ajama reitti liikennevaloliittymässä. Kullakin etuusopastinryhmällä (etuussuunnalla) pitää olla määriteltynä etuuspyyntöpiste ja kuittauspyyntöpiste
Etuuspyyntöpiste	Maantieteellinen piste, jonka kohdalle ajoneuvon saavuttua taustajärjestelmä lähettää etuuspyynnön
Kuittauspyyntöpiste	Maantieteellinen piste, jonka kohdalle ajoneuvon saavuttua taustajärjestelmä lähettää kuittauspyynnön
Liikennevalokoje	Varsinaisia liikennevaloja ohjaava koje. Liikennevalokoje on sijoitettuna kojekaappiin
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
SYVARI	Synkronoituun vaiherinkiin perustuva liikennevaloetuukseen toteutustapa

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Joukkoliikenteen houkuttelevuutta on pyritty Suomessa lisäämään vuosikausia erilaisten menetelmien myötä. Ollakseen houkutteleva kulkumuoto, on joukkoliikenteen tehokkuutta ja kilpailukykyä henkilöautoihin verrattuna pystyttävä lisäämään. Reitti- ja aikataulusuunnittelulla pystytään merkittävästi vaikuttamaan tähän, mutta samalla liikennemäärien jatkuvasti kasvaessa, aiheuttavat lisääntyvät ruuhkat jatkuvia haasteita joukkoliikenteelle muun muassa aikataulussa pysymisen suhteen. Kuten Davol (2001, s.15) tuo esiin, matka-aika on yksi tärkeimmistä palvelutason määrittäjistä asiakkaiden vertaillessa eri kulkumuotoja. Näin kokonaislaadun kannalta luotettavuus ja täsmällisyys nousevat suureen rooliin. Näiden vuoksi muun liikenteen aiheuttamilla ruuhkilla voi olla suuri merkitys joukkoliikenteen houkuttelevuuden kannalta, jos matka-aika ruuhkissa kasvaa ja täsmällisyys heikkenee.

Ruuhkia on pyritty minimoimaan muun muassa kehittämällä jatkuvasti liikennevalo-ohjausta viimeisten vuosikymmenten aikana vastaamaan paremmin lisääntyvien liikennemäärien vaatimuksiin. Suomessa liikennevalo-ohjausta on kehitetty merkittävästi muun muassa uudistamalla liikennevaloja koskevaa lainsäädäntöä ja kehittämällä liikennevalojen ohjaustekniikkaa. Kuitenkin aivan viime vuosiin asti joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien kehittäminen on ollut minimaalista.

Liaon (2006,s.2) mukaan joukkoliikennettä suosivilla etuuksilla voidaankin vaikuttaa paljon täsmällisyyteen ja matka-aikaan, häiritsemättä kuitenkaan merkittävästi muuta liikennettä. Täsmällisyyden parantuessa myös aikataulusuunnittelu tarkentuu ja mahdollisia myöhässäolon varalta jätettyjä aikataulun tasausaikoja päätepysäkeille on mahdollista pienentää merkittävästi. Tällöin aikataulujen tarkentuessa, sekä ajoneuvokierron tehokkaamman hyödyntämisen ja suunnittelutarkkuuden lisääntyessä on mahdollista muun muassa vähentää kierrossa olevien ajoneuvojen määrää osilla linjoista. Ajoneuvojen määrän vähentyessä saavutetaan siten merkittäviä kustannussäästöjä vuositasolla.

Liikenne- ja viestintäministeriö on asettanut joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien kehittämisen yhdeksi ministeriön kärkihankkeista vuosille 2010-2015. Hankeen tavoite-tasona on, että vuoteen 2015 mennessä joukkoliikenteellä olisi valtakunnallisesti liikennevaloetudet käytössä suurilla kaupunkiseuduilla. (Pursianen 2009, s.26) Viime vuosina Suomessa onkin kehitetty erilaisia matkustaja-informaatio- ja liikennevaloetusjärjestelmiä, joita voidaan hyödyntää kaupunkiliikenteessä, mahdollistaen joukkoliiken-

teen suosinnan. Lisäksi kehitettyjen modernimpien järjestelmien rinnalla voidaan käyttää edelleen perinteisiä, ajorataan asennettavia silmukkailmaisimia, jotka pystytään asettamaan erottelemaan bussit muusta liikenteestä automaattisesti. Silmukoiden ohjaustapa onkin pyritty kehittämään nykyisiä vaatimuksia vastaaviksi joukkoliikenteen liikennevaloetudet jokaiseen kaupunkiin (Jenka) -hankkeen myötä. (Sane, K. 2010, sivu 2)

Tampereella liikennevaloetuksia on testattu ensimmäisen kerran vuonna 1991 radioviesti-tekniikkaa hyödyntäen, sekä myöhemmin myös pitkäsilmuksilmaisimien avulla. Tampereen paikallisliikenteen hallintajärjestelmän (PARAS) myötä käyttöön otettiin vuonna 2003 aikatauluun perustuvat liikennevaloetudet 31 liikennevaloliittymään keskustan sisääntuloväylillä (Happonen & Vihanti 2006, s 6). PARAS -järjestelmän tekniikan vanhentumisen ja sitä seuranneen järjestelmän lakkauttamisen jälkeen otettiin Tampereelle käyttöön vuonna 2010 joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä, jonka myötä liikennevaloetuksia otetaan kaupungin alueella laajemmin käyttöön. Järjestelmän toiminta perustuu reaaliaikaiseen seurantaan, jonka avulla voidaan muunmuassa linjakohtaisesti määritellä liittymäalueille kriteerit, joilla etuusia myönnetään.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää joukkoliikenteen liikennevaloetuksien vaikutukset ajoaikoihin ja täsmällisyyteen joukkoliikenteen toiminnassa Tampereella. Työssä tullaan selvittämään, kuinka paljon Tampereella liikennevaloetuksia lisäämällä voidaan aikatauluja nopeuttaa nykyisestään tietyillä linjoilla, sekä kuinka paljon täsmällisyyteen voidaan vaikuttaa. Tarkastelussa on pyritty huomioimaan sekä keskimääräiset vaikutukset, sekä erilaisten alueiden eroavaisuudet vertailemalla kahta erilaista tutkimusaluetta keskenään.

Tutkimuksen aluksi selvitetään, millaisia tekniikoita hyödyntäen joukkoliikenteen liikennevaloetudet on mahdollista toteuttaa ja missä laajuudessa näitä on käytössä maailmalla. Tämä osuus painottuu reaaliaikaiseen paikannustietoon pohjautuviin järjestelmiin, jotka mahdollistavat liikennevaloetuksien myöntämisen reaaliaikaisen aikataulutiedon pohjalta esimerkiksi vain silloin, kun ajoneuvo on myöhässä. Tätä tietoa tullaan käyttämään vertailupohjana arvioidessa Tampereella toteutetun järjestelmän vaikutuksia.

Tarkempi järjestelmän vaikutusten tarkastelu on rajattu koskevaksi Hatanpään valtatie, sekä Sammon valtatie alueita, joilla on vilkas linjaliikenne, sekä valoetudet kattavasti toiminnassa jo työn aloitusvaiheessa. Työssä tarkkailun kohteeksi valitaan linjat, jotka kulkevat kokonaan tutkittujen alueiden läpi, mahdollistaen kattavien tulosten saamisen. Tämän jälkeen alueilta saatuja tuloksia sovelletaan sopivissa määrin laajemmalle alueelle kokonaisvaltaisemman vaikutusarvioinnin mahdollistamiseksi.

Jotta joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien vaikutukset saadaan esitettyä mahdollisimman monipuolisesti, tutkimuksessa käsitellään joukkoliikennetoiminnalle aiheutuvien vaikutusten lisäksi myös yleisellä tasolla muulle liikenteelle aiheutuvia viivytyksiä.

Työn tavoitteena on siis pyrkiä vastaamaan päätutkimuskysymykseen:

”Miten joukkoliikenteen liikennevaloetuuudet vaikuttavat joukkoliikenteen ajoneuvojen liikennöintiin Tampereella”

Tämä tutkimuskysymys on jaoiteltu seuraaviin alakysymyksiin:

- 1) Miten joukkoliikenteen liikennevaloetuuudet voidaan toteuttaa?
- 2) Kuinka paljon etuuksien avulla voidaan vaikuttaa joukkoliikenteen ajoaikoihin Tampereella?
- 3) Kuinka paljon etuuksien avulla voidaan vaikuttaa joukkoliikenteen täsmällisyyteen Tampereella?
- 4) Mitkä asiat on otettava huomioon ajoikasäästöjen ja täsmällisyyden paranemisen arvioinnissa koko toiminnan laajuudessa?

1.3 Tutkimusmenetelmät

Kasanen et al. (1991, s. 302) ryhmittelevät erilaiset tutkimusotteet teoreettisen ja empiirisen taustan perusteella, sekä deskriptiivisyyden ja normatiivisuuden pohjalta. Olkkonen (1994, s. 44) määrittelee deskriptiivisen tutkimuksen päämääräksi prosessien ja konseptien kuvauksen mallinnuksen ja syy-seuraus-suhteiden kautta. Näin pystytään paremman ymmärryksen myötä löytämään vaaditut ratkaisut. Normatiivisen tutkimuksen tavoitteeksi hän puolestaan nimeää ohjeiden ja normien tuottamisen.

Teoreettisiksi tutkimusotteiksi määritellään käsiteanalyttinen ja päätöksentekometodologinen tutkimusote. Empiirisiksi tutkimusotteiksi puolestaan määritellään nomoteettinen, toiminta-analyttinen, sekä konstruktiiivinen tutkimusote. Kasanen tutkimusotteiden jaottelu on esitetty kuvassa 1.

	Teoreettinen	Empiirinen
Deskriptiivinen	Käsite-analyyttinen	Nomoteettinen
Normatiivinen	Päätöksentekometodologinen	Toiminta-analyyttinen Konstruktiivinen

Kuva 1. Tutkimusotteiden jaottelu. (Mukailtu lähteestä Kasanen et al. 1991, s. 302)

Olkosen (1994, s.65) mukaan käsiteanalyyttisen tutkimusotteen pyrkimyksenä on luoda tarkasteltavan aiheen ympärille käsitejärjestelmä tukemaan suoritettavaa tutkimusta. Päätöksentekometodologisen tutkimusotteen tavoitteena puolestaan on uusien teorioiden ja sääntöjen kehittäminen matemaattisia malleja ja päättelyä hyödyntäen.

Nomoteettisen tutkimusotteen pyrkimyksenä on löytää havaintoaineistosta riippuvuuksia eri ominaisuuksien välillä. Ominaista nomoteettiselle tutkimusotteelle on, että havaintoaineiston määrä on suuri ja tulokset esitetään useimmiten erilaisten matemaattisten keinojen avulla. (Olkkonen 1994, ss. 67-68) Konstruktiivinen tutkimusote on monilta osin lähellä päätöksentekometodologista tutkimusotetta, mutta tässä sekä innovatiivisuus, että luovuus korostuvat. Näiden kautta pyritään löytämään ratkaisuja mallien tai kuvioden avulla, jotka sitten pyritään testaamaan käytännössä ja näin osoittamaan niiden hyödyllisyys. (Olkkonen 1994, s. 76-77 & Kasanen et al. 1991, s. 305)

Toiminta-analyyttisen tutkimusotteen avulla pyritään ymmärtämään tutkittu ongelma mahdollisimman syvällisesti. Usein tätä tutkimusotetta käytetään tarkasteltaessa organisaatioiden tai järjestelmien toimintaa. Toiminta-analyyttisen tutkimusotteen tuloksena syntyy yleensä teorioita, hypoteeseja, prosessiselityksiä tai ohjeita. (Olkkonen 1994, s. 72-73)

Tutkimusotteeltaan tämä työ jakaantuu kahteen osaan, teoreettiseen osioon, sekä empiiriseen osioon. Teoreettinen osio toteutetaan kvalitatiivisena tutkimuksena. Tutkimus toteutetaan deskriptiivisesti, eli kuvailevasti, jolloin Olkkosen (1994, s.44) määritelmän mukaan tutkimusotteeksi muodostuu käsiteanalyyttinen. Empiirinen osuus puolestaan toteutetaan aineistopohjaisena analyysinä, keräten taustajärjestelmästä dataa, jonka pohjalta pyritään tulkitsemaan vaikutuksia tutkituista aiheista. Empiirisessä osuudessa noudatetaan siis toiminta-analyyttistä tutkimusotetta.

Liikennevaloetuuksien toteutuksesta ja vaikutuksesta on verrattain paljon vuosien varrella tehty tutkimuksia. Tutkimuksen kohteena olevan järjestelmän kaltaisia toteutuksia ei kuitenkaan maailmalla ole vielä toteutettu laajemmin, joten vaikka alan kirjallisuutta on verrattain paljon, ovat ne pääsääntöisesti erilaisiin toteutuksiin keskittyviä. Davolin (2001, s. 4) mukaan alan kirjallisuus jakaantuu pitkälti kahteen kategoriaan: strategioiden kuvauksiin, sekä järjestelmien arviointiin.

Tutkimuskysymys itsessään on hyvin spesifi ja sen vuoksi myös aineistonkeruu tulee tehdä huolella relevantin taustatiedon keräämiseksi. Taustatietoa analysoidessa huomiota on kiinnitetty erityisesti siihen, millaista tutkimusta samantyyppisistä järjestelmistä on jo tehty. Tehtyjen tutkimusten pohjalta on siten pyritty kriittisesti arvioimaan, kuinka oleellisia nämä tiedot ovat Tampereen järjestelmän vaikutusten arvioinnin kannalta.

Teoriaosuudessa tarvittavia lähtötietoja on kerätty kirjallisuutta tutkimalla, sekä täydennetty haastatteluiden avulla niiltä osin kun kirjallista materiaalia ei ole ollut saatavilla. Haastattelut on järjestetty tarvittaessa ja keskittyneet täydentämään olemassa olevaa tietoa, jonka vuoksi niiden aihepiirit ja rakenteet ovat olleet hyvin tapauskohtaiset. Näiden lisäksi materiaalia on täydennetty liikennevaloetusjärjestelmästä saatavien tietojen avulla. Haastatteluiden avulla on pyritty saamaan tietoa osa-alueista, joita ei ole olemassa olevan kirjallisuuden avulla voitu kattaa. Haastatteluissa on myös pyritty keskittymään Tampereen järjestelmän ja sen vaikutusten arvioinnin kannalta relevanttien asioiden käsittelyyn.

Empiirisessä osiossa tärkeimmässä roolissa on järjestelmän tuottavan datan analysointi teorian pohjalta. Analyysissä hyödynnetään lisäksi haastatteluiden avulla kerättyä tietoa vaikutuksien hyödyntämismahdollisuuksista, jotta saadaan luotua vaaditulla tasolla arviot aikasäästöistä, sekä potentiaalisista vaikutuksista kustannuksiin.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Työn alussa käsitellään teoriapainotteisesti liikennevaloetuuksien erilaisia toteutuksia ja näiden tutkittuja vaikutuksia liikenteelle eri kaupungeissa. Toteutuksia tarkastellaan Zürichin, Lontoon, Helsingin ja Tukholman kaupungeissa, vertaillen näitä Tampereen järjestelmään, sekä pyrkien löytämään eri toteutustapojen vahvuudet ja suurimmat hyödyt joukkoliikenteelle. Lisäksi työssä on tarkasteltu myös Oulun kaupungissa toteutettua hälytysajoneuvojen etuusjärjestelmää, joka toimii hyvänä esimerkkinä siitä, kuinka liikennevaloetuksia voidaan hyödyntää myös joukkoliikennetoiminnan ulkopuolella. Esimerkit on valikoitu toteutustavan perusteella niin, että tuloksista saadaan monipuoliset ja kattavat. Kriteereinä kohdekaupunkien valintaan on ollut toteutustavan lisäksi käytössäoloaika, sekä jo tehtyjen tutkimusten määrä kyseisen kaupungin etuusjärjestelmästä.

Tämän jälkeen, teoriaosuuteen nojaten, tarkastellaan liikennevaloetuuksien vaikutuksia Tampereella tarkemmin. Arvio pohjautuu pääosin joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmän tuottamien raporttien antamiin tietoihin muun muassa linja-aikojen täsmällisyyden paranemisesta ja liittymäalueilla vietetyn ajan muuttumisesta.

Vaikutusten arvioinnissa tärkeässä osassa on joukkoliikenteen täsmällisyyden ja aikataulujen ennustustarkkuuden vertailu ennen ja jälkeen liikennevaloetuuksien käyttöönottoa. Tämän pohjalta työssä selvitetään, kuinka paljon Tampereella liikennevaloetuksia lisäämällä voidaan laskennallisia aikatauluja tarkentaa nykyisestään tietyillä linjoilla. Tämän perusteella voidaan puolestaan arvioida karkealla tasolla sitä, kuinka aikatauluja tarkentamalla voidaan hyödyntää esimerkiksi aikataulujen ja ajoneuvokierron suunnittelun optimoinnissa palvelutason parantamiseksi. Työn tuloksena muodostuu kerättyjen tietojen pohjalta tehty laskelma joukkoliikenteen etuuksien vaikutuksista aikatauluihin yleisellä tasolla, aikataulusuunnittelun näkökulmasta.

Työ on rajattu keskittymään vain pienelle, valitulle alueelle Tampereen kaupunkiseudulla niin, että käsitellyllä alueella on runkoliikennettä ja runsaasti etuuspisteitä. Tarkasteltavaksi alueeksi valittiin esiselvitysten perustella Hatanpään valtatie, sekä Sammon valtatie seutu, jossa liikennevaloetudet ovat olleet jo muita alueita pidempään käytössä.

2 JOUKKOLIIKENTEE LIKENNEVALOETUUKSIEN HISTORIA JA NYKYTILA

2.1 Joukkoliikenteen toimintaympäristö

Jatkuva tarve liikkumisen kehittämiseksi ja tehostamiseksi ilmenee yhä enenevässä määrin kaikkialla. Kehityksen vaatimat projektit syövät ison osan kaupunkien ja kuntien budjeteista ja samalla lisääntyvä katuinfra kehitystarve haastaa maankäytön suunnittelua kaupunkialueilla. Kadut ja kaupungit muuttuvat vuosi vuodelta ruuhkaisemmiksi yksityisautoilun kasvaessa ja väestön määrän lisääntyessä taajamissa. Näiden tekijöiden vuoksi joukkoliikenteen kehittäminen onkin usean vuoden ajan ollut tärkeä osa liikenteen sujuvoittamista tavoittelevissa hankkeissa. Joukkoliikennettä kehittämällä on etenkin suurimmissa kaupungeissa mahdollista saada yksityisautoilijoista joukkoliikenteen asiakkaita ja näin myös mahdollista vähentää yksityisautojen määrää ruuhkaisilla keskusta-alueilla.

Kyetäkseen kilpailemaan yksityisautoilun helppouden ja joustavuuden kanssa, joukkoliikenteen käytöstä on saatava houkuttelevaa. Houkuttelevuutta voidaan parantaa monin keinoin niin linjastosuunnittelun, kuin käytetyn kaluston laadun ja tarjottujen oheispalveluiden avulla. Matkustajamääriä ei ole kuitenkaan helppo saada lisättyä, ellei myös toiminnan luotettavuus ja matkan sujuvuus ole riittävällä tasolla. Voidaankin sanoa, että myös matkan sujuvuuden takaaminen on yksi merkittävä joukkoliikenteen houkuttelevuutta lisäävä tekijä.

Liaon (2006, s. 2) mukaan joukkoliikenteen sujuvuuteen vaikuttavat vahvasti niin ruuhkautuminen tärkeillä väylillä, liikennevaloliittymien aiheuttamat viivytykset, kuin myös käyttöaste. Linjastosuunnittelun ja jouhevien vaihtoyhteyksien avulla voidaan vaikuttaa paljon joukkoliikenteen käyttöasteeseen, mutta lisäksi sen on pystyttävä myös kilpailemaan yksityisautoilun nopeuden kanssa, etenkin käyttöasteen toivotun kasvun myötä.

Joukkoliikenteen ja kevyenliikenteen yhteistä markkinaosuutta on tarkoitus saada jatkuvasti kasvatettua kaupungeissa. Tässä tilanteessa joukkoliikenteen huomioiminen liikennejärjestelmäsuunnitelmien yhteydessä on entistä merkittävämmässä roolissa. Joukkoliikennettä pyritäänkin kehittämään joukkoliikennekatujen ja -kaistojen, pysäköintijärjestelyjen, sekä liikennevaloetuuksien avulla. (LVM 2001, s. 7)

Liikennejärjestelmiä suunniteltaessa joukkoliikenteen sujuvoittamista voidaan parantaa paljon edellä mainituin keinoin, jolloin ruuhkissa vietettyä aikaa voidaan vähentää keskusta-alueilla merkittävästi. Lisäksi Davolin (2001, s. 15) mukaan niin joukkoliikenteen, kuin muunkin liikenteen sujuvoittamisessa voidaan käyttää hyväksi merkittävästi älykkäitä liikennejärjestelmiä, jotka on laajalti nähty ratkaisuna moniin nykyisiin liikenteen ongelmiin.

Etenkin liikennevirtojen ohjauksessa älykkäät liikennejärjestelmät tuovat suurta hyötyjä kaupunkiympäristössä. Davol (2001, s. 15) kuitenkin korostaa, että vaikka erilaisilla teknisillä toteutuksilla ei poistetaakaan kokonaan tarvetta kehittää myös katuinfraa, voidaan niiden tarvetta ainakin merkittävästi vähentää pienemmillä kokonaiskustannuksilla.

Liikennevalot ovat kaikille tuttu esimerkki näistä edellä mainituista toteutuksista ja ovat tärkeässä roolissa puhuttaessa kaupunkialueiden liikennevirtojen hallinnasta. Liikennevalojen avulla voidaan hallita liittymäalueiden liikennettä ja estää yhteentörmäykset jaksottamalla ajo-oikeudet silloin, kun eri suunnista tulevien liikennevirtojen on tarvetta kulkea liittymäalueen läpi. Ilman liikennevaloja puolestaan jouduttaisiin tekemään merkittäviä muutoksia katuinfraan, jotta sama määrä autoja voitaisiin turvallisesti ohjata alueen läpi.

Liikennevalo-ohjaus on vuosien saatossa kehittynyt merkittävästi ja niitä on yhä enemmän alettu hyödyntämään myös joukkoliikenteen toiminnan kehittämisessä liikennevaloetuuksien muodossa. Liaon (2006, s. 2) mukaan liikennevaloetuuksien avulla pystytään entisestään parantamaan bussien liikennöintiä vilkkailla alueilla, jolloin matka-aikaan voidaan saada merkittäviä vaikutuksia. Matka-aikaa vähentämällä puolestaan voidaan myös vaikuttaa sekä päästöihin, että operointikustannuksiin.

Lisäksi etuuksien avulla pystytään vaivattomasti ja kustannustehokkaasti vaikuttamaan täsmällisyyteen, jonka avulla joukkoliikenteen käytöstä on mahdollista tehdä houkuttelevampi ja käyttäjäystävällisempi. Tämän myötä on mahdollista aikaansaada suurempaa käyttöastetta joukkoliikenteelle, vähentäen erityisesti keskusta-alueiden ruuhkaisuutta. (Smith et al. 2005, s. 2)

2.2 Liikennevalo-ohjaus

Liikennevalo-ohjauksen pääasiallinen tehtävä on vähentää ja estää yhteentörmäyksiä liittymäalueilla ohjaamalla eri suunnista tulevia liikennevirtoja ennalta määriteltyjen, liikennemääriin perustuvien kriteereiden perusteella. Luttisen ja Ojalan (2006, s. 137) mukaan liikenteen ohjauslaitteiston tarve ei ole suinkaan noussut esiin vasta viime vuosina, vaan niiden käyttöönottoon liittyvät ajatukset ovat heränneet jo 1800-luvun loppupuolella. Tämä siis tarkoittaa, että liikennevalo-ohjausta on hyödynnetty jo aikana, jol-

loin hevoset ovat vielä hallinneet vilkkaimpia katuja. Kuitenkin ensimmäiset käsin ohjatut liikennevalot on otettu käyttöön vasta vuonna 1918 New Yorkissa. Tästä hetkestä eteenpäin liikennevalo-ohjatut liittymät ovat lisääntyneet räjähdysmäisesti ja valo-ohjaus kehittynyt teknisesti merkittävästi.

Liikennevalot koostuvat kolmesta osasta, opastimista, ilmaisimista ja ohjauskojeista. Opastimet ovat liikennevalojen näkyvä osa, jotka kertovat, onko ajo opastimen ohi sallittua vai ei. Yleensä jokaista liittymän tulosuuntaa kohden on useammat opastimet, ennen liittymää sijoitettava pääopastin, sekä toisto-opastin joka on sijoitettu pääopastimen jälkeen paikkaan, josta myös pääopastimen kohdalle pysähtyvä ajoneuvo valo-ohjauksen näkee. Lisäksi liittymäalueella voi olla lisäopastimia, sekä jalankulkijaopastimet.

Opastimien lisäksi liikennevaloissa käytetään ilmaisimia havaitsemaan ajoneuvoja jotka lähestyvät liittymäaluetta. Ilmaisimia on kolmea tyyppiä; tiehen upotettavat silmukakailmaisimet, lämpösäteilyn havaitsevat infrapunailmaisimet, sekä tutkailmaisimet, jotka havaitsevat lähettämänsä mikroaaltoenergian takaisin kimpoamisen liikkuvasta ajoneuvosta. Lisäksi näihin ilmaisimiin voidaan lukea myös kuuluvaksi jalankulkijoiden painonapit, sekä tietyt videokuvailmaisimet. (Luttinen ja Ojala 2006, s. 136-137)

Nykyisissä liittymissä liikennevaloja ohjaavat ohjauslogiikat voivat vaihdella paljon. Käytettävät ohjauslogiikat vaihtelevat yksinkertaisesta, aikaperusteisesta ohjauksesta aina monimutkaisiin algoritmeihin, jotka ohjaavat liikennevaloja reaaliaikaisen liikennetiedon perusteella, yleensä pohjautuen liittymäalueelle asennettuihin ilmaisimiin.

Liikennevaloja voidaan ohjata useilla eri jaksotus- ja ajoitustavoilla, jotka voidaan Davolin (2001, s. 24) mukaan ryhmitellä kahden muuttujan avulla. Ensimmäinen muuttuja on ohjauslogiikka, eli se, miten ohjaus ottaa huomioon liikennetiedot. Ohjauslogiikka voi olla ennalta ajastettu, adaptiivinen tai muunneltava. Toisena muuttujana voidaan pitää ohjauksen kattavuutta, joka voi esimerkiksi määritellä alueen, joka ohjauksessa otetaan huomioon.

Taulukko 1. Erilaiset liikennevalojen ohjaustavat. (Mukailtu lähteestä Davol 2001, s. 22)

		Ohjauksen laajuus		
		Erillisohtaus	Kytetty	Alueellinen
Ohjauslogiikka	Ajastettu	•	•	•
	Muunneltava	•	•	•
	Adaptiivinen	•	•	•

2.2.1 Ohjauslogiikat

Aikaohjattu ohjauslogiikka on Davolin (2001, s. 24) mukaan perinteisin tapa. Siinä kier-
ron pituus ja vaihevälit on asetettu kiinteiksi arvoiksi, kuten myös jokaisen vaiheen kes-
to. Arvot määritellään usein historiatietoon pohjautuvien liikennemääräarvioiden mu-
kaan. Ajastettu ohjauslogiikka on helppo toteuttaa ja vaivaton ylläpitää, mutta sen sel-
keänä heikkoutena on passiivisuus. Tämä voi aiheuttaa liittymä-alueilla merkittäviäkin
turhia odotusaikoja silloin, kun liikennemäärät ovat alhaisia ja vihreä valo palaa tu-
losuuntaan, jossa ei liikennettä ole sillä hetkellä ollenkaan. Ajastetun logiikan joustamattomuuden ja uusien logiikoiden kehittymisen vuoksi on sen käyttö vähentynyt mer-
kittävästi, eikä sitä esimerkiksi Tampereella ole ollut käytössä.

Liikennetieto-ohjatut logiikat puolestaan ovat pyyntöohjautuvia. Kierrot ja vaiheiden
kestot määräytyvät liikennevirtojen mukaisesti liittymäalueen ilmaisimien tietojen avul-
la. Yleisin ominaisuus logiikassa on kyky pidentää vihreän vaiheen kestoa sensoreiden
havaitessa liittymää lähestyvän ajoneuvon, jolloin kyseinen ajoneuvo pääsee vielä sa-
malla kierrolla liittymäalueen läpi. Liikennetieto-ohjattu logiikka vaatii toimiakseen
ainakin kolme parametria: minimi- ja maksimiajat vihreälle vaiheelle, sekä pidennys-
mahdollisuuden. Pidennysmahdollisuus määritellään yleensä sen mukaan, kuinka kauan
ajoneuvolta tulisi kestää ilmaisimelta liittymäalueen läpi ajamiseen, mutta sitä voidaan
myös muunnella esimerkiksi sen mukaan, kuinka lähellä maksimiaika on. Lisäksi Lut-
tinen ja Ojala (2006, s. 132) tuovat esiin myös, että muunneltavan logiikan toisena ylei-
senä ominaisuutena on mahdollisuus jättää vihreä vaihe väliin ja siirtyä seuraavaan vai-
heeseen, jos pyyntöä ei ole sillä hetkellä tietystä suunnasta.

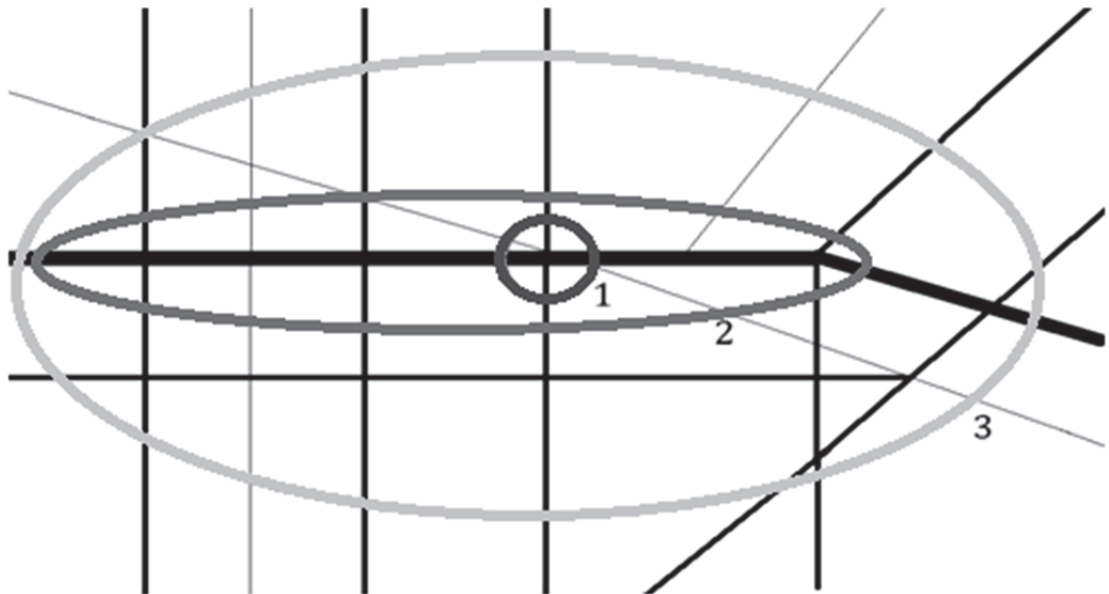
Myös adaptiivinen ohjaus perustuu reaaliaikaiseen pyyntöön, mutta sen avulla pystytään
muuttamaan muutakin, kuin pelkän vaiheen kestoa. Yleisimmin muunnellaan myös ko-
ko kierron kestoa, sekä vaiheiden jakamista kierron sisällä. Adaptiivinen ohjaus pyrkii
näistä logiikoista parhaiten optimoimaan odotusajat ja liikennevirrat liittymien läpi.
Adaptiivisen ohjauksen osuus kaikista logiikoista onkin vähitellen lisääntymässä, ja sitä
pyritään jatkuvasti kehittämään tehokkaammaksi. (Davol 2001, s. 25)

2.2.2 Ohjauksen laajuus

Ohjauksen laajuudella tarkoitetaan sitä, kuinka laaja-alaisesti valo-ohjausta kontrolloi-
daan yhden ohjausyksikön avulla. Yksittäisen liittymän erillisohjauksessa yksittäisen
liittymän liikennevaloja ohjataan ilman muiden liittymien kierron huomioimista. Tässä
tapauksessa kierron vaihe on aina optimoitu kyseiselle liittymäalueelle, mutta ei esimer-
kiksi huomioi mahdollista vihreää aaltoa. Luttisen ja Ojalan (2006, s. 132) mukaan eril-
lisohjausta käytetäänkin usein sellaisissa vaiheissa, joissa liikennemäärät ovat pieniä.
Lisäksi heidän mukaansa erillisohjaus on muista oletuksista huolimatta parhaimmillaan
myös keskustojen paikallisväylillä, joissa pysäköinnit, suojatiet ja pihatiet häiritsevät
liikennevirtoja säännöllisesti.

Pääväylät huomioonottavassa kytketyssä ohjauksessa puolestaan peräkkäisten liittymien opastinryhmien vaiheet tahdistetaan niin, että mahdollisimman kattava vihreä aalto saadaan luotua pääväylälle. Vihreän aallon luomiseksi perättäisten liittymien vihreä vaihe ajoitetaan sen mukaan, kuinka kauan ajoneuvolta laskennallisesti kuluu aikaa edellisestä liittymästä kyseisiin valoihin nopeusrajoitusten mukaan ajettaessa. Muunneltavassa ja adaptiivisessa ohjauslogiikassa pääväylät huomioon ottavalla ohjauksella voidaan vaapammin muunnella syklejä liittymäkohtaisesti, edellyttäen kuitenkin että vihreä aalto säilyy tiettynä aikavälinä kierrosta.

Laajimmassa, alueellisessa ohjauksessa valojen ohjaus ottaa huomioon suuremman verkoston. Useimmin alueellista ohjausta käsitellään kytketyn ohjaustavan laajennuksena ja sen toiminta on hyvin samanlaista. Alueellisen ohjauksen tehokkain käyttökohde on pääasiassa sellaiset suurten kaupunkien keskustat, jossa ei pääväyliä ole, eikä näin ollen mikään suunta ole toisia dominoivassa asemassa liikennemäärien suhteen. Tällaisilla alueilla voidaan tehokkaasti hyödyntää sekä ajastettua, että muunneltavaa ohjauslogiikkaa. On kuitenkin huomioitava, että adaptiivisen ohjauslogiikan hyödyntäminen vaikeutuu sitä mukaa kun alue kasvaa optimoinnin tullessa yhä haasteellisemmaksi. (Daval 2001, s. 25)



Kuva 2. Ohjauksen laajuuden eri vaihtoehtot.

Kuvassa 2 on tarkemmin havainnollistettu kuvitteellisen tieverkoston eri ohjauslaajuudet. Alue 1 esittää erillisohjukseen kuuluvaa aluetta, alue 2 kytketyn ohjauksen laajuutta ja alue 3 esittää alueellisen ohjauksen verkostoa. Käytännössä eri laajuuksien käytössä ei ole rajattu, kuinka monta liittymää siihen voidaan liittää, mutta lukumäärän kasvaessa vaaditaan ohjauslogiikalta huomattavasti enemmän. Tämän vuoksi ei ole suositeltavaa kytkeä etenkin alueellisessa ohjauksessa kovinkaan laajaa aluetta samaan ohjaukseen.

2.2.3 Ohjaustekniikat

2.2.3.1 SYVARI

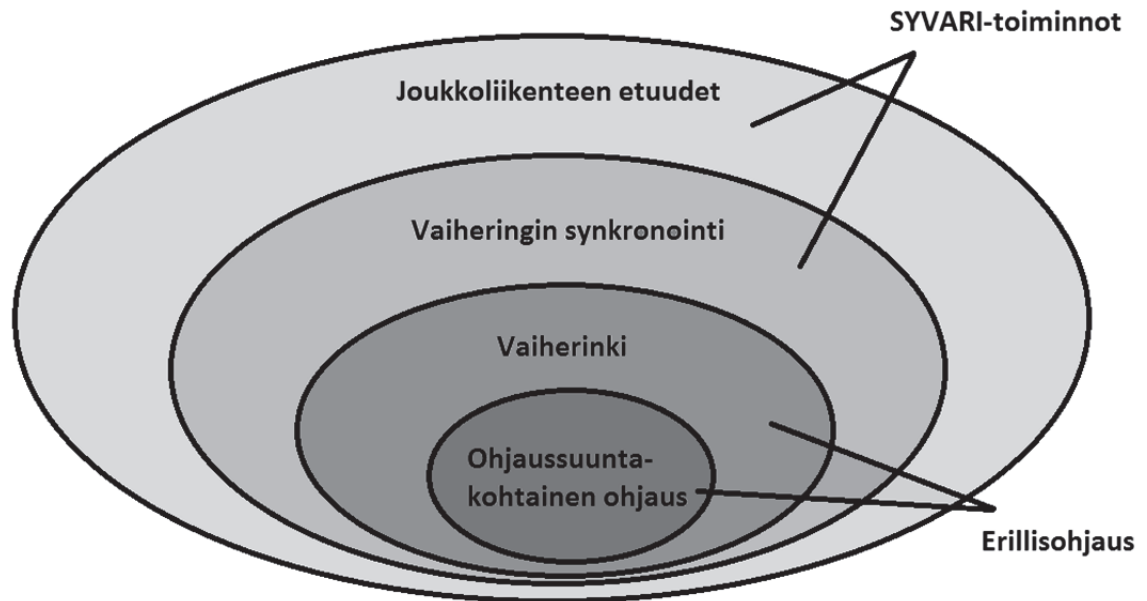
SYVARI, eli synkronoitu vaiherinki, on uudenlainen liikennevalojen ohjaustapa, joka pohjautuu Suomessa yleisesti käytettyyn vaiherinki-ohjaukseen erillisohjatuissa liikennevaloissa. SYVARI kehitettiin alun perin Turun kaupungille, mutta otettiin nopeasti käyttöön ympäri Suomea osana JENKA-projektia. SYVARI-projektin verkkosivuston (2010) mukaan ohjaustavan vahvuutena on sen joustavuus ja tehokkuus joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien kannalta, sillä etuudet voidaan toteuttaa hyvin yksinkertaisilla suunnitteluilla ja ohjelmoinneilla.

SYVARI-ohjauksessa liikennevalojen ohjauksen vaiherinki synkronoidaan liikennevalojen kiertoaikaan aina, kun joukkoliikenteen etuuksia ei ole päällä. Tämän avulla yksittäisohjatut valot saadaan synkronoitumaan läheisten valojen kanssa, saavuttaen näin yhteenkytetyin ohjauksen edut. JENKA -projektin myötä tekniikka on niin vakioitunut, että sitä voidaan hyödyntää laitevalmistajasta riippumatta, jolloin se soveltuu kaikkiin kaupunkeihin. Monet kaupungit ovatkin projektin myötä suunnitelleet jatkossa tukeutuvansa SYVARI -etuuksiin ja useita etuudet sisältäviä liittymiä onkin suunnitteilla Suomeen lähivuosina tällä tekniikalla toteutettuna. (Sane, K. 2010)

Salosen (2010, s. 4) mukaan SYVARI yhdistääkin tehokkaasti perinteisten erillisohjauksen ja tahdistetun ohjauksen, kun ohjaussuuntakohtainen ohjaus yhdistetään vaiherinkiin, joka ohjaa vihreiden valojen aloituslupia läpi kierron. SYVARI-ohjattu liikennevalo noudattaa vaiheringin vaihekaaviota, kunnes lähestyvä joukkoliikenteen ajoneuvo lähettää etuuspyynnön, joka tarvittaessa irrottaa kyseisen liikennevalon vaiheringistä etuuden toteuttamiseksi. Etuuden jälkeen liikennevalo synkronoituu takaisin vaiherinkiin joko nopeuttamalla, tai hidastamalla kiertoaan siihen asti, että se saavuttaa oikean vaiheen, tai uusi etuus toteutetaan.

Salonen (2010, s. 4) tuo esiin SYVARIn olevan paitsi erittäin joustava, myös todella toimintavarma ohjaustapa. Pyyntöjen esiintymisen perusteella voidaan vaiheita toteuttaa normaalista kierrosta poiketen, mutta niitä voidaan myös jättää väliin jos pyyntöjä ei ilmene. Normaalin vaihekierron mukaisia aloituslupia myönnetään vasta, kun edellinen vaihe ja pyydetty etuudet on saatu päätökseen, jolloin kierron normaalit vaiheet eivät koskaan pääse pyydettyjen etuuksien päälle ennen aikojaan.

SYVARIN toiminta voidaan siis kiteyttää neljään eri osa-alueeseen, jotka on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. Syvarin rakenne. (Mukailtu lähteestä Salonen 2010)

2.2.3.2 SCOOT

SCOOT (Split, Cycle, and Offset Optimisation Technique) on laajemmin maailmalla tunnettu optimoiva ohjaustapa, joka pyrkii optimoimaan ohjauksen ilmaisimista saatavan tiedon pohjalta havaitusta muutoksista liikennemäärissä. SCOOT kehitettiin aikoinaan Englannissa, jossa se on nykyään lähes maanlaajuisesti käytössä. Englannista ohjaustapa on hiljalleen levinnyt muualle maailmaan ja on nykyään jo laajalti käytössä muunmuassa Yhdysvalloissa ja Aasiassa. (Moore et al. 1999, s. 1)

SCOOT:n ohjaus perustuu laajemmin liikennevalojärjestelmien toimintojen kontrolloimiseen, ennemmin kuin yksittäisten liittymän ohjaukseen. SCOOT kerää sensoreiden avulla tietoa sen hetkisestä liikennetiedosta, kuten liikennemääristä, jonojen pituuksista ja odotusajoista. Tämän avulla määrittelee ehtoja liikennevalojen vaihejakoon tarpeen mukaan, joiden perusteella vaiheiden kestoihin ja järjestyksiin voidaan tehdä tarvittavia muutoksia kysynnän pohjalta.

Moore ja kumppanit (1999, s. 2) toteavat, että parhaimmillaan tällaisella optimoinnilla tulisi kyetä ehkäisemään ruuhkautumista tehokkaasti ja minimoimaan sen kesto. Käytännössä SCOOTin edut tulevat parhaiten esiin ruuhka-aikaan alueilla, joissa liikennemääriä ei voida kunnolla ennakoida. Gardnerin ja kumppaneiden (2009, s.36) mukaan kuitenkin hyödyn saavuttamisen edellytyksenä on, että alkuperäisessä kierrossa on vaiheiden pituuksille joustovaraa riittävästi sekä lyhennykseen, että pidennykseen. Alkuperäisen kierron ollessa jo lähellä minimikestoaan, ei vaiheen nopeuttamista voida toteuttaa, eikä järjestelmän hyötyjä näin saavuttaa täysimittaisena.

Gardner ja kumppanit (2009, s. 36) esittelevät eri tapoja, joiden pohjalta SCOOT voi joukkoliikenteen liikennevaloetuksia toteuttaa. Passiivisesti myönnettyissä etuuksissa joukkoliikenteen kannalta vilkkaasti liikennöidyille suunnille annetaan suurempi painotuskerroin esimerkiksi maksimiodotusaikojen tai maksimi jononpituuksien suhteen. Aktiivisissa etuuksissa samat painotuskertoimet voidaan antaa vain tietyille ajoneuvoille, edellyttäen näiden tunnistamiseen käytettäväksi joko kiinteitä ilmaisimia tai erillistä ajoneuvon paikannustekniikkaa.

Gardner ja kumppanit myös kertovat, että viime vuosina SCOOT:n logiikkaa on paranneltu kykenemään paremmin hyödyntämään informaatiota, jota uudet etuus- ja paikannusjärjestelmät tuottavat. Etenkin etuuslogiikkaan on lisätty ominaisuuksia, joilla voidaan käsitellä useampia ilmaisupisteitä, sekä lisätty kuittauspisteiden käytön mahdollisuus. Lisäksi muutoksissa on mahdollistettu useamman eri prioriteettiluokan käyttö joukkoliikenteelle, esimerkiksi aikataulujen perusteella, jolloin itse etuusjärjestelmältä ei vaadita kykyä muodostaa eri prioriteetteja ajoneuvoille.

2.2.3.3 SPOT

SPOT on hajautettuun laitteistoarkkitehtuuriin ja liittymäkohtaiseen optimointiin pohjautuva adaptiivinen alueellinen liikennevalojärjestelmä. Kuten muissakin järjestelmissä, optimointi perustuu tierakenteisiin asennettujen ilmaisimien lähettämään tietoon liikenneolosuhteista. Optimoimalla ohjausta pyritään minimoimaan liikenteen hidastumiset, tarpeettomat pysähdykset, sekä ruuhkautuminen.

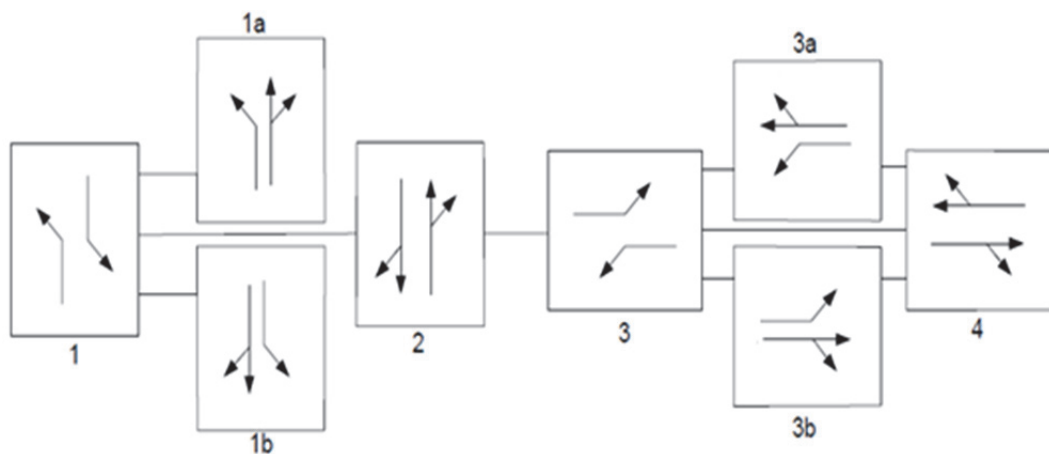
SPOT kehitettiin alun perin Torinon kaupungissa Italiassa, josta se on laajentunut muun muassa Pohjoismaihin, Alankomaihin ja Yhdysvaltoihin. Hajautetun optimointi prosessinsa ansiosta SPOT mahdollistaa nopeamman reagoinnin muutostarpeisiin kuin esimerkiksi SCOOT. (Al Mudhaffar 2006, s. 12)

Sihvolan (2001, s. 4) mukaan SPOT:n merkittävin ero edellisiin ohjaustapoihin verrattuna on se, että liikennevalojen tulevat vaiheet ja niiden vaihtumisajat lasketaan aina kolmen sekunnin välein seuraavalle kahdelle minuutille. Laskelmat perustuvat aina sen hetkisiin pyyntöihin, siten että vierekkäiset liittymät vaihtavat tietonsa aina samassa kierrossa. SPOT perustuu vaiheisiin, joille on määritelty kiinteä järjestys, sekä minimi- ja maksimijajat. Vaikka järjestys on määritelty kiinteäksi, ne voidaan ohjelmoida toteutumaan vain pyynnöstä, jolloin kierrosta tulee joustava. SPOT:in joukkoliikenteen etuudet voidaan toteuttaa määrittelemällä havaitulle joukkoliikenteen ajoneuvolle korkein painokerroin, jolla pyynnöstä toteutettavan vaiheen toteutus tapahtuu.

2.2.4 Vaihejako

Liikennevalojen vaiheet pyritään aina suunnittelemaan niin, että mahdollisimman monelle suunnalle voidaan antaa turvallisesti ajo-oikeus yhtä aikaa, jolloin liittymän kapasiteetti voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Vaihejako suunnitellaan siis niin, että mahdollisimman monelle suunnalle voidaan antaa ajo-oikeus siten, että mahdollisimman vähän törmäysalttiita kohtia esiintyy. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että keskenään risteävät, suoraan ajavat ajoneuvot eivät koskaan saa ajo-oikeutta yhtä aikaa liikennevalo-ohjatussa liittymässä. Koska parhaimmillaan liittymässä on useita tulo- ja lähtösuuntia, on mahdollisia ajolinjoja lukuisia ja tätä myötä myös useita erilaisia variaatioita liittymän valo-ohjauksen vaiheiksi. (Tiehallinto, 2005)

Jotta kapasiteetti voidaan hyödyntää tehokkaasti, on erilaiset yhdistelmät määritelty tarkemmin liittymän liikennevalojen vaihekaaviossa, joka havainnollistaa paitsi ajo-oikeudet eri vaiheissa, koko kierron läpimenon. Vaihekaaviossa voidaan esittää paitsi ajosuunnat, jotka voivat saada ajo-oikeuden samaan aikaan, myös keskenään vaihtoehtoiset vaiheet. Välivaiheita ei kuitenkaan läheskään aina käytetä. Tällaisessa tapauksessa puhutaan jäykästä ohjauksesta, kun vaiheet noudattavat aina samaa kiertoa ilman vaihtelumahdollisuutta. Kuvassa 4 on tarkemmin esitelty esimerkki liikennevalojen joustavasta vaihekaaviosta, jossa on esitetty päävaiheet 1, 2, 3 ja 4, sekä keskenään vaihtoehtoiset välivaiheet 1a/1b, sekä 3a/3b. Pääsääntöisesti vaihekaavion päävaiheet toteutetaan jokaisessa kierrossa, mutta keskenään vaihtoehtoisista välivaiheista korkeintaan toinen. Välivaiheiden toteutus määritellään tarpeen mukaan ja tarvittaessa jätetään kokonaan pois.



Kuva 4. Esimerkki vaihekaaviosta. (Mukailtu lähteestä Tiehallinto 2005)

Vaihekaavion lisäksi vaiheiden järjestystä voidaan esittää myös ajoituskaavion avulla, joka on graafinen esitystapa siitä, miten liikennevalojen eri suuntien ajo-oikeudet toteutetaan suhteessa aikaan ja toisiinsa (liikennevalot.info, 2011). Ajoituskaaviosta on myös luettavissa kaikki vaihekaavion tiedot, kuten se, mitkä suunnat voivat saada vihreän

samaan aikaan, sekä mikä on kierron normaalikesto. Ajoituskaaviossa on vaihekaaviota helpompi havaita esimerkiksi vaiheiden välinen vaihtumisaika, jolloin kaikille suunnille palaa punaiset valot hetkellisesti. Esimerkki ajoituskaaviosta on esitetty kuvassa 5, jossa jokainen ajosuunta on merkitty pysty-akselille ja vaaka-akselille on merkitty aika sekunteina.



Kuva 5. Esimerkki ajoituskaaviosta. (Mukailtu lähteestä liikennevalot.info, 2011)

2.3 Joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien tavoitteet

Joukkoliikenteen liikennevaloetuuksille on selkeä liikennepoliittinen tarve. Maailmalla liikennevaloetuksia on kehitetty useilla eri menetelmillä, jonka seurauksena etuuksien tarpeellisuus on pystytty todistamaan. Suomessa suurimmilla kaupunkiseuduilla on viimeisen vuosikymmenen aikana herätty tähän tarpeeseen entistä laajemmin. Lisäksi myös liikenne- ja viestintäministeriö on nostanut liikennevaloetuuksien kehittämisen yhdeksi älyliikenteen kansalliseksi kärkihankkeeksi (Sane, K. 2010). Tämän seurauksena erilaisia kehityshankkeita on käynnistynyt ja uusia järjestelmiä otettu käyttöön hiljalleen.

Joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien kehittämiseen panostetaan merkittävästi ympäri maailmaa. Pyrkimyksenä on kehittää olemassa olevia, sekä uusia järjestelmiä niin, että saataisiin mahdollisimman suuri positiivinen vaikutus joukkoliikenteelle, mutta häiritään muuta liikennettä mahdollisimman vähän.

Yksinkertaisimmillaan joukkoliikenteen etuuksien tavoitteena on taata joukkoliikenneajoneuvojen aikataulussa pysyminen eri liikenneolosuhteissa ruuhkaisinakin aikoina, sekä minimoida liikennevalojen aiheuttamat viivytykset. Tämä tapahtuu synkronoimalla liikennevalojen kierto vastaamaan joukkoliikenneajoneuvon tarvetta sen lähestyessä liittymäaluetta. Etuuksien avulla pyritään lisäksi luomaan joukkoliikenteestä houkuttelevampi vaihtoehto, sekä parantamaan sen kilpailukykyä muuhun liikenteeseen verrattuna. (Helsingin liikenteenohjauskeskus, 2010)

Kuitenkin liikennevaloetuksia suunniteltaessa tavoitteena on ottaa koko liikenne huomioon. Tämän vuoksi suunnitelmien avulla pyritään minimoimaan haitat kehittämällä erityisesti ehdollisille etuuksille monipuolisia ehtoja, joilla tavoitteeseen päästään, ilman että muu liikenne häiriinny.

2.4 Liikennevaloetuksien toimintaperiaate

Liikennevaloetuudet toimivat ilmaisimista saatavan tiedon avulla pyrkien sekä parantamaan joukkoliikenteen tehokkuutta, että täsmällisyyttä. Liikennevaloetuksien pääasiallinen tarkoitus onkin vähentää joukkoliikenteen odotusaikaa liikennevaloissa ja näin minimoida liittymien vaikutus viiveisiin. Oinaan (2000, s. 7) mukaan tätä kautta joukkoliikenteen sujuvuus paranee merkittävästi, joka hyödyttää paitsi matkustajia, myös operaattoreita matka-aikojen lyhentyessä ja täsmällisyyden parantuessa. Ajoneuvojen lähestyessä liittymäaluetta, todelliset tai virtuaaliset ilmaisimet, lähettävät tiedon saapuvasta ajoneuvosta ohjauskojeelle, joka myöntää reunaehtoien täytyessä ajoneuvolle vihreän valon (Hwang et al. 2006, s. 117).

Hwang et al. (2006, s. 118) mukaan etuuksien myöntämiseen liittyy karkealla tasolla liittymäalueelle saapuvan ajoneuvon tunnistamisen lisäksi seuraavat toimet: ajoneuvon etuuspyynnön tunnistaminen, myönnettävän etuustyyppin määrittäminen, sekä vaaditun strategian toteuttaminen. Karkealla tasolla määriteltynä toteutettava strategia voi olla jokin seuraavista: vihreän vaiheen pidentäminen, vihreän vaiheen aikaistaminen ajoneuvon tulosuunnalle, ylimääräisen vaiheen lisääminen, tai kierron hetkellinen nopeuttaminen vihreän nopeammaksi saamiseksi. Lisäksi melko uutena mahdollisuutena voidaan myös toteuttaa vaiheen rotaatio.

Jotta etuudet voidaan toteuttaa, vaaditaan kuitenkin myös liikennevaloja ohjaavalta järjestelmältä paljon. Älykkäällä etuusjärjestelmällä voidaan saavuttaa suuria hyötyjä, mutta tämän toteutumiseksi myös etuuksien toteutussuunnitelman tulee myös olla riittävän älykäs ja liikennevalojen ohjaustavan kyettävä toteuttamaan etuudet. Onkin huomioitava, että etuuksista puhuttaessa sekä liikennevalo-ohjauksen suunnittelu, että etuussuunnittelu ovat kaksi täysin eri kokonaisuutta, joiden on kyettävä toimimaan saumattomasti yhteen maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi.

Kun saapuvalla ajoneuvolle myönnetään etuus, vaikuttaa se poikkeuksetta liikennevalojen kiertoon. Koska etuuksilla ei suurta vaikutusta normaaliliikenteelle ole siinä määrin, että autoilijoita tulisi erikseen varoittaa, ei etuuksista liikenteessä juuri tiedoteta. Kuvassa 6 näytetään osassa liikennevaloista oleva valkoinen valopilkku punaisen valon alakulmassa, joka osoittaa käynnissä olevan etuuden. Valopilkun tarkoituksena on paitsi osoittaa etuuden toimivuus, myös auttaa huoltohenkilökuntaa etuuksien testauksissa. Valopilkku alkaa vilkkua kun ajoneuvolle järjestelmästä riippuen myönnetään tai pyy-

detään etuutta, ja sammuu ajoneuvon ohitettua kuittauspiste. Suomessa valopilkut ovat vähitellen korvanneet aiemmin käytössä olleet nuppivalot, jotka sijaitsivat opastimen päällä. (Helsingin liikenteenohjauskeskus, 2010)



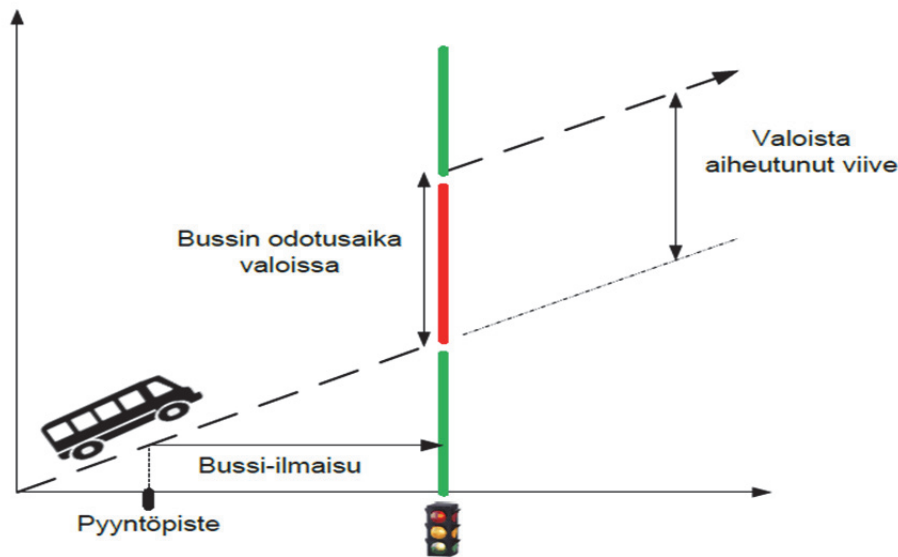
Kuva 6. Valopilkku käynnissä olevan etuuden merkinä.

2.4.1 Toteutustavat

Etuuksia voidaan toteuttaa usealla eri tavalla kierron eri vaiheissa. Yleisimmät tavat ovat monesti vihreän vaiheen pidennys ja aiennus, niiden vaikuttaessa vain vähän itse kierron tavanomaiseen järjestykseen, mutta myös useita muita tapoja muokata ohjauskiertoa esiintyy etuuksia toteutettaessa.

2.4.1.1 Normaali tilanne

Normaalissa tilanteessa, jossa joukkoliikenne-etuudet eivät ole käytössä, joukkoliikenneajoneuvon saapuessa liittymäalueelle sen odotusaika määräytyy sen mukaan, missä vaiheessa kiertoa liittymäalueelle saavutaan. Kuva 7 havainnollistaa perinteisen matka-aikakaavion avulla tilanteen, jossa bussi ohittaa pyyntöpisteen vihreän valon aikana, mutta saapuu valoihin vasta valojen juuri vaihduttua punaiseksi. Liittymän kohdalle on merkitty pystypalkilla valojen vaiheet, joiden avulla voidaan osoittaa sekä bussille valoista aiheutuva odotusaika, että siitä aiheutuva viivytys verrattuna tilanteeseen jossa bussi pääsisi liittymän läpi heti. (Helsingin liikenteenohjauskeskus, 2010)



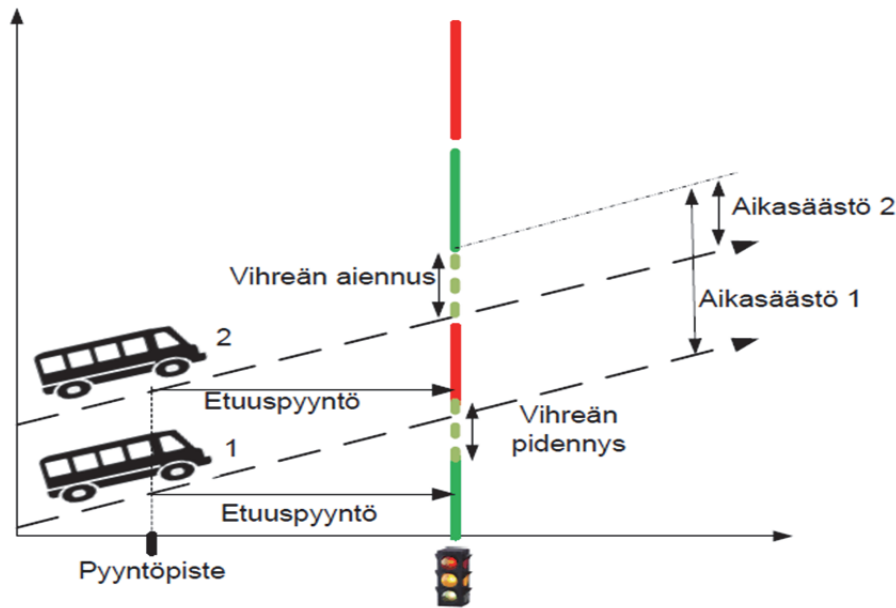
Kuva 7. Liikennevalojen vaikutus joukkoliikenteen etenemiseen ilman etuuksia. (Mukailtu lähteestä Helsingin liikenteenohjauskeskus, 2010)

2.4.1.2 Vihreän pidennys ja aiennus

Etuuksien myöntämisessä on yleisin toimi vihreän vaiheen pidennys. Kuva 8 havainnollistaa tilanteen, jossa vihreän pidennys edesauttaa aikasäästön saavuttamista. Kuvassa ajoneuvo 1 saavuttaa pyyntöpisteen liikennevalojen kierron vihreässä vaiheessa. Vihreä vaihe on jo niin pitkällä, että se ehtisi muuttua normaalioloissa punaiseksi ennen kuin ajoneuvo on liittymäalueella. Etuuspyynnön havaittuaan, ohjauskoje muuttaa vihreän vaiheen pituutta niin, että ajoneuvo ehtii sen aikana vielä ohittamaan liittymän ja sen matka-aika lyhenee kuvassa osoitetun ajan.

Vihreän vaiheen pidennyksen keston määrittämiseksi voidaan käyttää joko laskennallista aikaa etuuspisteeltä liittymäalueen läpi, tai vaihtoehtoisesti kuittauspisteen käyttämistä liittymäalueella. Kuittauspistettä hyödyntämällä etuus voidaan lopettaa aina mahdollisimman nopeasti, jolloin muulle liikenteelle aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa. (Helsingin liikenteenohjauskeskus, 2010)

Kuvassa 8 esitetään myös tilanne, jossa ajoneuvon 2 saavuttaessa pyyntöpisteen, on ajoneuvo 1 ehtinyt liittymäalueen läpi ja vihreän pidennys on ehtinyt juuri loppua. Tässä tapauksessa kuva havainnollistaa toisen yleisen etuuksien toteutustavan, vihreän aiennuksen. Aiennuksessa vihreä valo aloitetaan normaalia aikaisemmin, jotta ajoneuvo pääsee liittymäalueen läpi ilman suurempia viivytyksiä tai pysähdystarvetta, näin lyhentäen sen matka-aikaa.



Kuva 8. Liikennevaloetuuden toteuttaminen vihreän pidennyksellä ja aiennuksella. (Mukailtu lähteestä Helsingin liikenteenohjauskeskus, 2010)

Vihreän aiennuksen käyttämisessä ongelmana on toisen suunnan vihreän katkaisu, joka tulisi ottaa huomioon esimerkiksi suunniteltaessa raja-arvoja vihreän vaiheen minimikestolle, ennen kuin etuutta voidaan antaa. Myös jalankulku on otettava huomioon liittymissä. Liikenneturvallisuus-syistä liikennevaloetuuksissa on rajattu vihreän vaiheen aiennus niin, että se ei missään vaiheessa saa lyhentää jalankululle varattua vähimmäisaikaa. Tällä huolehditaan siitä, että jalankulkija ehtii aina kadun ylitse vihreän aikana. (Helsingin liikenteenohjauskeskus 2010)

2.4.1.3 Ylimääräinen vaihe ja kierron nopeutus

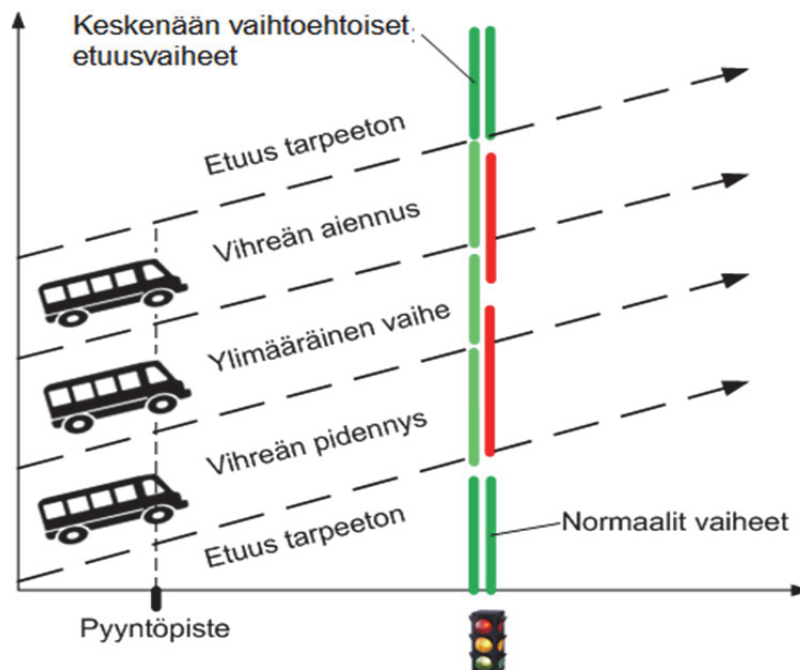
Ylimääräinen vaihe on myös vaihtoehtona etuudeksi. Siinä joukkoliikenteen pyynnöstä annetaan lyhyt vihreä vaihe joukkoliikenneajoneuvon tulosuuntaan. Koska ylimääräinen vaihe pääsääntöisesti on lyhyt, soveltuu se kaikista parhaiten hyödynnettäväksi joukkoliikennekaistojen yhteydessä. Näin voidaan varmistua, etteivät joukkoliikenteen ajoneuvot jää ehtimättä liittymäalueen läpi esimerkiksi pitkän jonon seurauksena.

Kierron nopeutus on myös vaihtoehtona silloin, kun kytketyissä valoissa joukkoliikenteen ilmaisu tulee liian myöhään, jotta etuutta voitaisiin hoitaa vihreän pidennyksellä, eikä kierto mahdu ylimääräistä vaihetta. Nopeutetun kierron toiminta perustuu siihen, että etuuspyynnön vastaanottamisen jälkeen kaikki tulevat vaiheet tehdään nopeutettuna, jotta etuuden pyytäneen ajoneuvon tulosuuntaan saadaan vihreä vaihe mahdollisimman pian.

Kuva 9 havainnollistaa tilanteen, jossa etuuden estäminen on tarpeen. Kuvassa bussi 1 saa etuuden liittymään ja ehtii vihreän pidennyksellä alueen läpi. Perässä tuleva bussi 2 saapuu pyyntöpuolelle liian myöhään pystyäkseen hyödyntämään vihreän pidennystä, jonka maksimiaika on esitetty kuvassa sinisellä palkilla. Näin ollen pyyntö lähetetään estoikkunan aikaan, joka on määritelty aikana, jolloin muille suunnille on saatava myönnettyä vihreät vaiheet ja etuus estetään.

2.4.1.7 Etuusikkunat

Se, minkä avulla etuuden toteutustapa lopulta määritellään, on pääsääntöisesti etukäteen asetettu toteutumaan etuusikkunoiden avulla. Etuusikkunoiden avulla pystytään määrittelemään toteutettu etuustapa sen perusteella, millä hetkellä ajoneuvo saapuu pyyntöpuolelle kohdalle. Tästä voidaan päätellä myös, missä valojen vaiheessa se saapuu liittymään. Kuvassa 10 on esitetty tilanteet yksinkertaisen mallin avulla, jossa oletuksena on, että ajoneuvolta kestää jokaisessa tapauksessa yhtä kauan ajaa etuuspisteeltä liittymäalueelle. Jokainen etuusikkuna on määritelty tässä niin, että ikkuna sulkeutuu siinä vaiheessa kun laskennallisen aikataulun mukaan ajoneuvo ei enää ehdi sen toteutustavan mukaan liittymän läpi.



Kuva 10. Etuusikkunat, joiden mukaan toteutettu etuudenmyöntötapa määräytyy. (Mukailtu lähteestä Helsingin liikenteenohjauskeskus, 2010)

Etuuksien suunnittelussa tärkeää on myös kiinnittää huomiota siihen, kuinka ohjaus palautetaan normaaliin tilaan, eli synkronoidaan etuuden jälkeen. Oinaan (2000, s. 11) mukaan tilanteissa, jossa etuuskien vuoksi kierto on pahasti epäsynkronoitu muiden liittymien kanssa, voi pahimmassa tapauksessa synkronointi kestää jopa useamman kierroksen ajan.

2.4.1.8 Etuuksien myöntämiseen vaikuttavat tekijät

Vaikka etuuksia on satunnaisesti otettu käyttöön automaattisten, ehdottomien ohjausten periaatetta hyödyntäen, jolloin etuus myönnetään yleensä kaikille joukkoliikenneajoneuvoille, ovat useimmat etuusjärjestelmät huomattavasti edistyneempiä nykyään. Edistymisen myötä myös niiden ohjauslogiikat ja etuuksien myöntöperiaatteet ovat hyvinkin monimutkaisia sääntöjä noudattavia. Säännöissä voidaan Hwangin ja kumppaneiden (2006, s. 117) mukaan huomioida monenlaisia tekijöitä, kuten:

- liikennemäärät
- matkustajamäärät joukkoliikenneajoneuvoissa
- jonojen pituudet liittymissä
- ajosuunta
- ajonopeus
- liikennevalojen kierron pituus
- liikennevalojen kierron vaihe etuuspyynnön saamisen aikaan
- joukkoliikenneajoneuvon sijainti suhteessa aikatauluun
- pysäkin sijainti liittymäalueen läheisyydessä
- etuuden myöntämisen vaikutukset muulle liikenteelle
- etuuspyyntöjen esiintymistiheys
- edellisestä myönnetystä etuudesta kulunut aika

Järjestelmästä riippuen edellä mainittuja tekijöitä voidaan ottaa huomioon hyvin eri tavoin. Usein järjestelmä ottaakin huomioon vain muutamia näistä sen mukaan, mitkä tekijät on järjestelmää suunniteltaessa priorisoitu korkeimmalle.

Davolin (2001, s. 16) mukaan liikennevaloetuuksien käyttöönotto voi olla hyvinkin haastavaa, etenkin jos edellä mainitun tapaisia kriteereitä käytetään useita. Useiden kriteerien toteuttamisella voi olla merkittäviä ja joskus yllätyksellisiä vaikutuksia muulle liikenteelle, joihin ei välttämättä ole osattu varautua vaaditulla tavalla. Käyttöönotossa haasteita tuo lisäksi se, kuinka etuusjärjestelmä pystytään kytkemään olemassa olevaan ohjauslaitteistoon. Vaikka etuuksien käyttöönotto on varsin kustannustehokas hankinta saavutettavat hyödyt huomioon ottaen, on niiden käyttöönotto myös suuri riski jos ei niitä suunnitella kunnolla etukäteen.

Normaalissa tilanteessa liikennevaloissa pyritään minimoimaan kaikkien ajoneuvojen odotusaikaa, mutta matkustajamäärät huomioon ottaen on sama odotusaika aina suhteellisesti huomattavasti suurempi bussille, kuin henkilöautolle. Davolin (2001, s. 27) mukaan joukkoliikenteen liikennevaloetuuksia voidaankin pitkälti perustella tarpeellisiksi pohjautuen niiden suureen kuljetuskapasiteettiin. Kuljetuskapasiteetti huomioon ottaen etuuden antaminen yhdelle linja-autolle hyödyttää suurempaa määrää matkustajia kerralla, kuin vastaavan etuuden antaminen hyödyttäisi yksittäistä henkilöautoa. Tämän vuoksi liittymien läpäisykapasiteettia ja liikennevalo-ohjauksen tehokkuutta kuvastaa

paremmin todellisuudessa ajoneuvokohtaisen odotusajan sijaan kokonaisodotusaika henkilöittäin.

Joukkoliikenne-etuuksia on kahdenlaisia, rakenteellisia (esimerkiksi joukkoliikennekaistat, liittymän ohituskaistat jne.) ja toiminnallisia, valojen toimintaan vaikuttavia etuuksia, jotka voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin etuuksiin (Oinas 2000, s. 7). Toiminnallisia etuuksia voidaan myöntää ajastetusti passiivisella etuuksien myöntämisellä, jolloin ei ohjauskojeelle vaadita minkäänlaista signaalia liittymäalueelle saapuvasta ajoneuvosta. Vaihtoehtoisesti signaali voidaan lähettää monella tavalla ajoneuvon sijaintitietoon perustuen, joko ajoneuvoon tai katuinfraan asennettujen laitteistojen perusteella.

Nykyään passiivinen ohjaus on kuitenkin väistymässä sijaintitietoon perustuvien järjestelmien tieltä. Oinaan (2000, s. 11) mukaan sijaintitietoon pohjautuvissa etuuksissa ajoneuvot havaitaan joko paikkatiedon tai ilmaisimien avulla, jotka kykenevät erottelamaan joukkoliikenneajoneuvot muusta liikenteestä. Joukkoliikenneilmaisoin voi olla pitkäsil-mukka- tai muu paikkailmaisoin, tai radioviesti-ilmaisoin. Seuraavassa on esitelty erilaiset toimintaperiaatteet, joita liikennevaloetuuksien toteutuksessa hyödynnetään pääsääntöisesti.

2.4.2 Ohjausstrategiat

Etuuksien myöntämiseen on useita erilaisia strategioita, jotka pitkälti määrittävät etuuksissa käytettyjen strategioiden mukaan. Etuudet voidaan myöntää kaikille ajoneuvoille, jotka lähestyvät liittymäaluetta passiivisesti tai aktiivisesti. Lisäksi aktiivisessa etuudessa näitä voidaan myös erilaisilla määrittelyillä karsia ja priorisoida.

2.4.2.1 Passiivinen etuus

Passiivisella etuuksien myöntämisellä tarkoitetaan ohjaustapaa, jossa vaiheet on etukäteen ajastettu minimoimaan joukkoliikenteen viiveet. Tämä voi yksinkertaisimmillaan tarkoittaa, että suunnat, joilla joukkoliikenne on vilkkaampaa, tai sisältää runsaasti korkeamman prioriteetin linjoja kuin muut, saavat pääsääntöisesti enemmän vihreää valoa kuin muut suunnat. Tällöin sekä todennäköinen odotusaika, että todennäköisyys kohdata punainen valo pienenevät linja-autoilla. (Garrow ja Machemehl 1997, Hounsell et al. 2004, s. 287)

Vaihtoehtoisesti myös voidaan käyttää lyhyempää kiertoa, jolloin odotusajat pienenevät merkittävästi. Davol (2001, s. 28) kuitenkin toteaa, että tässä ongelmana on merkittävä kapasiteetin pieneneminen läpiajon suhteen, eikä tätä suositella käytettäväksi ruuhkaisilla alueilla. Oinaan (2000, s. 8) mukaan passiivinen toiminta on kyllä halpa toteuttaa, mutta se voi aiheuttaa turhia viivytyksiä muulle liikenteelle silloin, kun joukkoliikennet-

tä ei alueella ole. Tämä onkin merkittävä ongelma ajatellen kokonaistehokkuutta ja läpi-ajokapasiteettia, etenkin jos tiheimmilläänkin joukkoliikenne on harvassa alueella.

Passiivisessa strategiassa voidaan lisäksi edistää joukkoliikenteen toimintaa muun muassa ajastamalla vihreä aalto pääväylät huomioon ottavassa ohjauksessa. Ajastus voidaan toteuttaa sen perusteella, kuinka kauan matka liittymästä toiseen joukkoliikenteen ajoneuvolla kestää kaikkine pysähdyksineen, sen sijaan että ne ajastettaisiin normaalin henkilöliikenteen mukaan, joka perinteisesti on joukkoliikennettä hieman nopeampaa. Tässä kuitenkin on hyvin haasteellista huomioida esimerkiksi pysäkeille pysähtymisen mahdollisuutta täydellisesti, jonka vuoksi joukkoliikenteen etenemistä jouhevasti liittymäalueen läpi ei voida täysin taata. (Davol 2001, s. 28)

Davol (2001, s. 28) myös huomauttaa, että passiiviset etuudet voivat pahimmillaan aiheuttaa pahaa ruuhkautumista ja turhaa odotusaikojen pidentymistä koko liikenteelle, jonka vuoksi passiivisten etuisuuksien käyttöä tulisikin tarkkaan harkita. Samaan aikaan on hänen mukaansa kuitenkin huomioitava, että monesti passiiviset etuudet ovat ainoa vaihtoehto kustannussyistä, jos ohjauslaitteistoa ei taloudellisista rajoitteista johtuen voida päivittää.

2.4.2.2 Aktiivinen etuus

Aktiivinen etuisuuksien myöntäminen perustuu joukkoliikenneajoneuvojen havaitsemiseen, kun ne lähestyvät liittymäaluetta. Aktiivisella etuudella tarkoitetaan siis aina sitä, että liikennevalojen jaksotusta muutetaan reaaliaikaisesti vain joukkoliikenneajoneuvon pyynnöstä, ennalta määritettyjen ilmaisimien avulla (Davol 2001, s. 26). Hounsell et al. (2004, s. 287) jaottelevat aktiivisissa etuuksissa käytettävät ilmaisimet kolmeen kategoriaan;

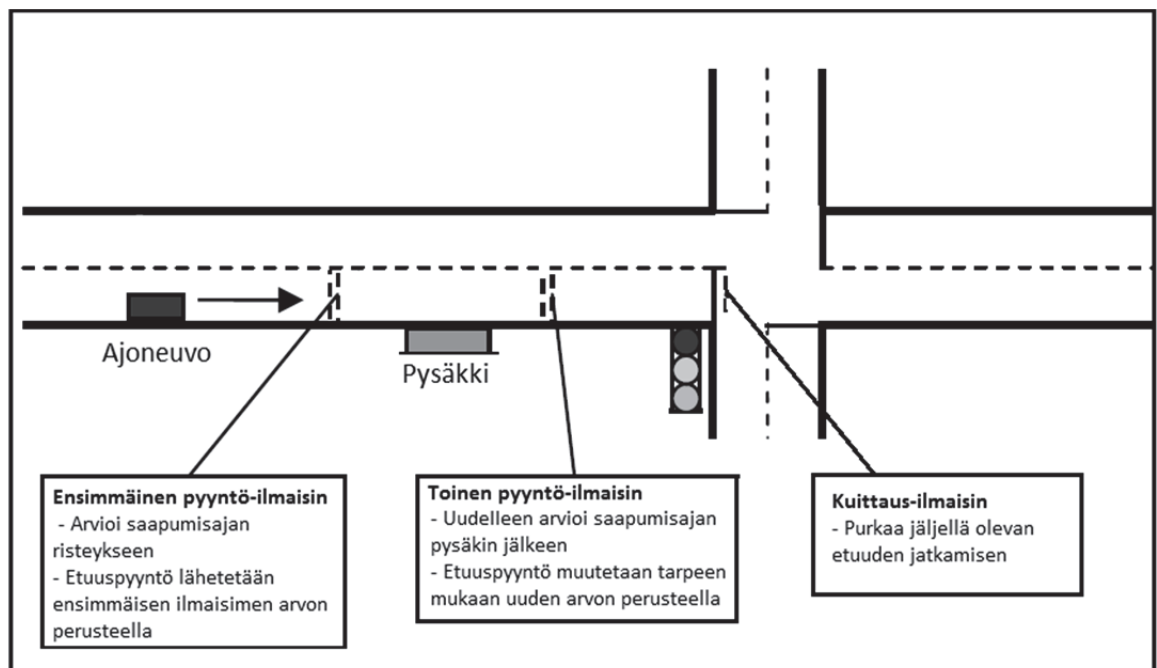
- 1) Tiehen kiinnitetyt ilmaisimet, kuten pitkäsilmuikkailmaisimet tien pinnassa, tai videokuvailmaisimet
- 2) Tiehen ja ajoneuvoihin asennetut ilmaisimet jotka kommunikoivat keskenään, kuten ajoneuvo ilmaisimet, jotka lähettävät signaalin tiessä tai tien vieressä oleville laitteille kohdalle osuessaan
- 3) Ajoneuvon kiinnitetyt ilmaisimet jotka keskustelevat ohjausyksikön kanssa. Yleisesti tässä kategoriassa käytössä on GPS -paikannin ajoneuvossa, joka lähettää keskusyksikölle sijaintitiedon tiedonsiirtoyhteyden kautta.

Oinaan (2000, s. 12) mukaan havaitsemisessa voidaan käyttää seuraavanlaisia, yhdestä kolmeen ilmaisuun perustuvia järjestelmiä. Yhteen ilmaisuun perustuvassa järjestelmässä ajoneuvo havaitaan vain kun sen lähestyy liittymäaluetta. Ajoneuvon ohittaessa ennalta määritetty pyyntöpiste, lähetetään kojeelle tieto lähestyvistä ajoneuvosta. Etuus annetaan ajoneuvolle jos se ehdollisessa ohjauksessa täyttää vaaditut raja-arvot, tai automaattisesti jos liittymässä on ehdoton etuuksien myöntöperiaate. Yhden ilmaisimen järjestelmässä ei kuitenkaan saada tietää, milloin ajoneuvo on ohittanut liittymän, jolloin

liittymäalueelle määritellään kiinteä kuittausaika, jonka oletetaan vastaavan ajoneuvolta kuluvaan aikaan päästä liittymäalueen läpi.

Kahden ilmaisun järjestelmässä havaitaan lisäksi se, kun ajoneuvo ohittaa ennalta määritellyn kuittauspisteen, eli poistuu liittymästä, jolloin ohjauskojeelle annetaan kuittaus ajoneuvon läpipääsystä. Näin ohjauskoje saa tietää etuuden olevan käytetty ja se voidaan katkaista heti. Tällä saadaan minimoitua muiden suuntien turhat odotukset kun vihreän pidennys voidaan lopettaa heti kun ajoneuvo on ohittanut liittymän, eikä tarvitse käyttää yhden ilmaisimen vaatimaa laskennallista aikaa, johon on lisätty tietty turvaväli. Näin normaaliin kiertoon voidaan palata heti kun se on mahdollista. (Oinas 2000, s. 12 ja Gardner et al. 2009, s. 46)

Kolmen ilmaisimen käyttö on myös joissain tapauksissa hyödyllistä. Tällöin kahta ilmaisinta käytetään etuuspyynnöissä ja kolmatta kuittauksessa. Kahta pyyntöilmaisua voidaan perustella käytettäväksi etenkin silloin, kun pyyntöpisteen ja liittymän välissä on esimerkiksi pysäkki, joka aiheuttaa merkittävää vaihtelua liittymäalueella vietettyyn aikaan. Tällaisissa tapauksissa voidaan joissain tapauksissa kahden ilmaisimen liittymissä hyödyntää myös kahden pyyntöpisteen käyttämistä kuittauspisteen sijaan. Useamman ilmaisimen käyttö parantaa etuuksien optimointia ja näin vähentää muulle liikenteelle aiheutuvaa haittaa. (Gardner et al. 2009, s. 46) Lisäksi esimerkiksi Tampereella on käytössä neljään ilmaisimeen pohjautuvat etuudet, jossa edellä mainittujen kolmen ilmaisimen lisäksi käytössä on pysäkillä kuittauspiste.



Kuva 11. Ilmaisimien sijoittuminen kolmen ilmaisimen järjestelmässä. (Mukailtu lähteestä Gardner et al. 2009, s. 46)

Aktiiviset etuudet vaativat huomattavasti enemmän panostusta infrastruktuuriin passiivisiin etuuksiin verrattuna. Aktiivisten ilmaisimien avulla voidaan käytännössä toteuttaa kolmea eri toimintoa: pidentää vihreää vaihetta, lopettaa edellinen vaihe aiemmin, tai lisätä ylimääräisen vihreän vaiheen kierron. Toteutettu toiminto määräytyy sen mukaan missä vaiheessa kiertoa valot ovat ajoneuvon lähettäessä etuuspyynnön. Toimintoa valitessa pyritään ennalta määriteltyjen kriteereiden avulla minimoimaan paitsi joukkoliikenneajoneuvon odottamisaika, myös haittavaikutus muulle liikenteelle. (Davol 2001, s. 26)

Toisin kuin passiivisten etuuksien käyttöönotossa, aktiiviset etuudet vaativat erityisiä ilmaisimien asennuksia toimiakseen. Tämän vuoksi aktiivisen etuusjärjestelmän testaaminen käyttöönottovaiheessa ei ole aina ongelmaton, etenkin jos liikennevalokojeita joudutaan päivittämään laajemmin hankinnan myötä. Davol (2001, s. 26) osoittaa, että tämän vuoksi ennen käyttöönottoa parhaiden metodien löytämiseksi voi toisinaan olla tarvetta erilliseen etuuksien simulointiin kenttäkokeiden sijaan. Simulointeja voidaan myös vaihtoehtoisesti hyödyntää kenttäkokeiden rinnalla. Näin mahdollistetaan parhaimman ratkaisun löytäminen ja sen vaikutukset osataan arvioida jo ennen käyttöönottoa.

Sekä Davolin, että Oinaan (2000, s. 15) mukaan aktiivisen etuuden suhteen yksi suurimpia huolia on sen vaikutukset muuhun liikenteeseen. Kuten passiivisissa etuuksissa, myös aktiivisissa luonnollisesti haittavaikutukset muulle liikenteelle lisääntyvät sitä mukaa kun liikennemäärät kasvavat. Pienillä liikennemäärillä liittymien välityskapasiteetti usein on huomattavasti vaadittua suurempi, eikä suuria haittavaikutuksia luonnollisesti tule. Kuitenkin liikennemäärien lähestyessä maksimikapasiteettia, lisääntyvät vaikutukset huomattavasti. Tämän vuoksi ruuhka-aikaan liikennevaloetuuksilla voi pienen matkustajamäärän linjoilla olla perusteltua myös poistaa etuudet kokonaan. Näin itse asiassa nopeuttaa alueen linjojen läpimenoa suhteutettuna aikaan, joka läpimenoilta menisi jos etuudet kaikille myönnettäisiin.

Aktiivisten etuuksien myöntäminen voi myös olla haasteellista alueellisten tekijöiden vuoksi, esimerkiksi siinä tapauksessa, että liittymäalueen välittömässä läheisyydessä on pysäkki. Tällöin etuuspyyntöpiste joudutaan sijoittamaan ennen pysäkkiä, eikä pysäkin jälkeen ei mahdu toista etuuspistettä, jolloin vihreä vaihe voi pidentyä täysin turhaan ajoneuvon pysähtyessä pitkäksi aikaa pysäkillä.

Toisin kuin passiiviset etuudet, aktiivisia etuuksia on mahdollista tehostaa entisestään merkittävästi. Siksi aktiivisten etuuksien tutkimus ja kehitys on vuosien varrella lisääntynyt merkittävästi ja uudet aktiiviset etuusjärjestelmät ovat yhä kehittyneempiä, tarkoittaen yhä suurempaa hyötyä joukkoliikenteelle ilman kasvavaa haittaa muulle liikenteelle. Aktiiviset etuudet voidaan nykyään jaotella kolmeen kategoriaan: Ehdottomiin, ehdollisiin ja adaptiivisiin etuuksiin.

Ehdoton etuus

Ehdottomilla etuuksilla tarkoitetaan aktiivisia etuuksia, joilla ei ole raja-arvoja määrittelemässä sitä, annetaanko etuutta vai ei, vaan jokainen joukkoliikenneajoneuvo joka ohittaa pyyntöpisteen, saa etuuden. Ehdottomien etuuksien merkittävin heikkous onkin siinä, että ajoneuvo voi tästä johtuen saada etuuden tarpeettomasti esimerkiksi silloin kun se on aikataulustaa edellä. Tällöin vaikutukset voivat itse asiassa olla siis kokonaisuuden kannalta haitallisia, etuuden vaikuttaessa negatiivisesti muuhun liikenteeseen tuomatta varsinaista hyötyä kyseiselle etuuden saaneelle ajoneuvolle.

Hwang kumppaneineen (2006, s. 118) kuitenkin huomauttaa, että vaikka ehdottomilla etuuksilla onkin tiettyjä heikkouksia ehdollisiin verrattuna, eivät ne vaadi mitään ylimääräistä informaatiota järjestelmän toimimiseksi. Tämän vuoksi pelkän sijaintitiedon perusteella voidaan tehokkaasti myöntää etuuksia muun muassa silloin, kun ajoneuvoilla ei ole erinäisistä syistä johtuen mahdollisuutta kattavaan kommunikaatioon etuusjärjestelmän kanssa.

Ehdollinen etuus

Ehdolliset etuudet voivat eri tavoin määritellä etuuden myöntämisen tarpeellisuutta ajoneuvon lähestyessä liittymäaluetta. Ehdolliset etuudet pohjautuvat sääntöpohjaiseen järjestelmään, jossa on määritelty tapaukset minkä ehtojen täytyessä etuuksia myönnetään. Hwang et al. (2006, s. 118) mukaan ehdollinen etuus voidaan myöntää esimerkiksi siinä tapauksessa, että etuuspyynnön lähettänyt ajoneuvo on myöhässä aikataulustaan, tai ohjauslaitteen mukaan ajoneuvolle voidaan muiden asetettujen reunaehtojen täytyessä myöntää etuus. Reunaehtoja, joita ohjauslaitteelle voidaan asettaa, voi olla muun muassa senhetkinen kierron vaihe. Esimerkkinä tästä on tilanne jossa esimerkiksi vihreää voidaan pidentää, mutta vihreän jo muuttuessa punaiseksi, ei seuraavia vaihteita enää sallita jätettäväksi väliin ja etuutta ei myönnetä.

Ehdolliset strategiat myöntävät etuuksia tietyin kriteerein, joista suosituin on monesti aikataulussa pysyminen. Vaikka useita muita kriteereitä käytetäänkin aikataulusidonnaisuuden rinnalla, on nykyinen tutkimus keskittynyt vahvasti selvittämään, kuinka etuudet voivat vaikuttaa täsmällisyyteen tehokkaimmin, ilman että muulle liikenteelle tulee suuria haittavaikutuksia. (Daval 2001, s. 33).

Furth ja Muller (2000, ss. 26-28) toteavat tutkimuksessaan ehdollisten etuuksien olleen selkeästi tehokkaampi keino toteuttaa etuudet liikenteen kokonaisvaltaisen sujuvuuden kannalta. Tämä toteamus on tehty siitäkin huolimatta, että ehdottoman strategian avulla saavutettiin suuremmat aikasäästöt joukkoliikenteelle. Toteamus on tehty pohjautuen huomioon siittä, kuinka strategiaa muuttamalla Eindhovenissa tehdyssä tutkimuksessa saatiin aikaan suuria parannuksia läpiajoaikoihin muiden ajoneuvojen osalta, aiheuttaen vain suhteellisesti pieniä hidastuksia joukkoliikenteelle ehdottomaan strategiaan verrattuna. Lisäksi havaittiin, että ehdollisten etuuksien etuna on kyky kontrolloida toimintaa

tehokkaammin ja saada aikaan täsmällisempää linjaliikennettä, joka puolestaan Davolin (2001, s.34) mukaan vaikuttaa merkittävästi matkustajatytytyvyyteen.

Ehdolliset etuudet voivat myös ottaa huomioon liikenteen ohjauksen optimoinnin laajemmalla alueella. Adaptiivisesti ehdollisia etuuksia myönnettäessä voidaan ottaa huomioon liikennetilanne sillä hetkellä ja esimerkiksi verrata joukkoliikenneajoneuvon etuudesta saamaa hyötyä muulle liikenteelle aiheutuviin haittoihin. Näin ollen voidaan määrittellä, tuleeko etuutta kuitenkaan myöntää kyseisessä tilanteessa. Adaptiiviseen liikennevalo-ohjaukseen on siten helppo liittää joukkoliikenteen etuudet, sillä ohjausyksikölle on helppo määrittää esimerkiksi sääntö, jossa yksi joukkoliikenteen ajoneuvo vastaa 50 henkilöautoa. Tällöin joukkoliikenne tulee automaattisesti suosituksi yksinkertaisella määrittelyllä. (Davol 2001, s. 33)

Davol (2001, s.34) huomauttaa myös, että joissain tapauksissa ongelmalliseksi ehdollisen etuuden myöntämisen tekee optimoinnin rajoitteet. Esimerkiksi ruuhka-aikoina, kun liittymäalueen välityskyky on käytössä täysimääräisesti ja jonojen pituudet kasvavat, olisi joukkoliikenteelle erittäin tärkeää pystyä hyödyntämään etuuksia mahdollisimman laajasti. Kuitenkin asetetut rajoitteet määrittelevät esimerkiksi maksimipituudet jonoille, jolloin etuuksia voidaan antaa. Ruuhka-aikaan jonojen kasvaessa yli tämän raja-arvon, ei etuuksia voidakaan enää antaa tilanteessa, jossa joukkoliikenne sitä juuri eniten tarvitsisi.

2.5 Vaikutukset joukkoliikenteen toimintaan

Kuten jo aiemmin todettua, liikennevaloetuuksien vaikutukset on helpointa havaita kokonaismatka-aikaa tutkimalla. Dion et al. (2004, s. 3) mukaan liikennevaloissa vietetty aika, sekä niiden välillinen vaikutus joukkoliikenteen etenemiseen on jopa 10-25% koko matka-ajasta. Esimerkiksi Los Angelesissa joukkoliikenteen matka-aikaan liittyen Hwang ja kumppanit (2006, s. 120) puolestaan toteavat, että useiden tutkimusten mukaan liikennevaloetuuksien avulla voidaan saada aikaan jopa viiden prosentin aikasäästöjä matka-aikoihin sellaisillakin etuuksilla, jotka ovat tiukasti ehdollistettuja. Näin ollen voidaan päätellä etuuksilla olevan suurikin vaikutus nimenomaan liikennevaloissa vietettyyn aikaan koko reitin pituudella.

Aikasäästöjä tärkeämpää on kuitenkin mahdollisesti Hwangin ja kumppaneiden (2006, s.120) mielestä täsmällisyyden paraneminen, kun turhat liikennevalojen aiheuttamat odotusaikojen vaihtelut katoavat, tai ainakin pienenevät merkittävästi. Tämän ansiosta aikataulusuunnittelussa voidaan myös olettaa ajoneuvojen tarvitsevan pienempiä aikataulun tasausaikoja ennen seuraavalle linjalle siirtymistä.

Matkustajatytytyvöisyyden kannalta lähtöaikojen pitävyyden lisäksi tärkeää on, että pysäkkiaikataulujen pitävyys on mahdollisimman hyvä. Etenkin pitkillä linjoilla pysäkki-aikataulut ovat monesti vain suuntaa-antavia ja todellinen aikataulu saattaa heilahdella jopa useita minuutteja, suurelta osin juuri muun liikenteen, ja siten suuresti liikennevaloliittymien vuoksi. Etuuksien avulla nämä pysäkkikohtaiset aikataulut tarkentuvat ja siten parantavat matkustuskokemusta merkittävästi asiakkaiden kokeman palvelutason ja matkustamisen laadun parantuessa. Etenkin talviaikaan matkustajat varmasti arvostavat tietoa siitä, etteivät joudu odottamaan useita minuutteja turhaan ankarassa talvisäässä.

Joukkoliikenteen aikataulusuunnittelussa on yleistä pyrkiä luomaan linjoille vakiominuuttiaikataulut, jotka ovat asiakasystävällisiä etenkin linjojen vakituisten matkustajien kannalta. Vakiominuuttiaikatauluilla tarkoitetaan linjojen aikataulutusta niin, että ne lähtevät säännöllisin välein pääteasemilta joka tunti samalla minuutilla. Käytännössä tämä voi parhaillaan tarkoittaa sitä, ettei asiakkaan tarvitse tarkastaa aikataulua joka kerta, vaan riittää, että tämä muistaa tarvitsemansa linjan lähtevän päätepysäkiltään aina esimerkiksi viidentoista minuutin välein, ensimmäisen linjan lähtiessä tasatunnein, seuraavan 15 minuuttia yli ja niin edelleen.

Vakiominuuttiaikataulut puolestaan voivat heikentää mahdollisuuksia hyödyntää liikennevaloetuksia ajoneuvokierron tehostamisessa. Vaikka ajoneuvo pystyisi operoimaan linjan viisi minuuttia nopeammin etuuksien ansiosta, ei se välttämättä vaikuta siihen, milloin se seuraavan kerran lähtee liikenteeseen, vaan odotusaika päätepysäkillä vain pitenee, jos vakiominuuttiaikataulu ei anna periksi. Parhaimmassa tapauksessa saavutettu aikasäästö kuitenkin on sen verran merkittävä, että välistä voidaankin jättää yksi ajoneuvo pois. Tämän ansiosta saavutetaan siten merkittäviä operointikustannuksia kaluston- ja henkilöstötarpeiden pienentyessä. Esimerkiksi Portlandissa Yhdysvalloissa on ollut mahdollista jättää yksi ajoneuvo kierrosta pois usealla linjalla, kun etuuksien käyttöönoton jälkeen matka-aika lyheni 10% ja ajoneuvojen täsmällisyys parani jopa 19% johtaen entistä pienempien aikataulun tasausaikojen tarpeeseen. (Smith et al. 2005, s. 5)

Dion kumppaneineen (2004, s. 9) tuo esiin myös sen, kuinka etuuksien avulla voidaan vähentää kustannuksia myös polttoaineen kulutuksen vähentyessä joukkoliikenteen ajoneuvoilla kun turhia pysähdyksiä pystytään välttämään. Heidän mukaansa polttoaineen kulutus on eräässä tutkimuksessa vähentynyt aamuruuhkien aikana jopa 2,7% kun kaikille joukkoliikenteen ajoneuvoille on myönnetty etuudet.

Luonnollisesti tätä kautta myös ympäristövaikutukset nousevat esille liikennevaloetuksia tarkasteltaessa. Vaikka etuuksien avulla pystytään merkittävästi vähentämään joukkoliikenteen päästöjä turhien odotusaikojen ja tyhjäkäynnin vähentyessä, aiheuttaa se kuitenkin lisääntyneitä päästöjä muulle liikenteelle. Joukkoliikenteen imago vihreänä vaihtoehtona kuitenkin tätä kautta paranee entisestään, kun päästö- ja kulutuserot henki-

löliikenteen ja joukkoliikenteen välillä kasvaa muun liikenteen lisääntyneiden pysähdysten myötä.

2.6 Vaikutukset muuhun liikenteeseen

Joukkoliikenteen etuudet luonnollisesti vaikuttavat muuhun liikenteeseen negatiivisesti muullakin tavalla kuin päästöjä lisäämällä. Onkin selvää, että joukkoliikenne-etuuksien vaikutukset ovat hyvin monimuotoiset, eivätkä täysin yksiselitteiset, kun tarkastellaan vaikutuksia myös muulle liikenteelle.

Keskusta-alueella, joissa liikennevalo-ohjaus on laajemmalla alueella synkronoitu, on selkeimmin henkilöautoille havaittava vaikutus vihreän aallon häiriöt. Häiriöt voivat esiintyä joko todellisen vihreän aallon aloituksen myöhästymisellä, tai lähellä ajavan joukkoliikenneajoneuvon etuuksien äkkinäisenä päättymisenä ajoneuvon esimerkiksi pysähtyessä pysäkillä. Tällöin muun liikenteen jatkaessa matkaansa, eikä saakaan enää etuuden luomaa vihreää aaltoa.

JENKA -projektissa tutkittiin SYVARI- etuuksien vaikutusta sekä joukkoliikenteelle, että muulle liikenteelle. Tuloksista pystyttiin havaitsemaan, että siinä missä joukkoliikenteen viivytykset vähenivät jopa 66%, oli muun liikenteen viivytykset ruuhka-aikaan tiheälläkin vuorovälillä vain 12% ja hiljaisempina aikoina alle 5% (Musto, M. 2010, s. 15). Tästä voidaan helposti nähdä, että vaikutukset ovat pääsääntöisesti vaikeasti havaittavissa normaalissa muun liikenteen liikennöinnissä. Luonnollisesti samansuuntaiselle liikenteelle vaikutukset ovat vielä pienemmät, mutta joukkoliikenteen kanssa risteävän liikenteen osalta vaikutukset ovat usein suuremmat. Muun liikenteen vaikutuksiin pystytään kuitenkin vaikuttamaan merkittävästi mm. ohjaustapojen ja suunnittelutapojen valinnoilla

Lisäksi Dion ja kumppanit (2004, s. 10) osoittavat että liittymissä, jossa on risteäviin suuntiin runsaat liikennemäärät ja läpimenokapasiteetin käyttöaste korkealla, risteävien suuntien vihreän keston pienelläkin lyhenemisellä etuuksien myötä voi olla vilkkaimpina aikoina merkittävä hidastava vaikutus muulle liikenteelle.

On kuitenkin otettava huomioon, että liikennevaloetuuksilla voidaan saada aikaan myös muullekin kuin pelkästään joukkoliikenteelle positiivisia vaikutuksia. Järjestelmät on mahdollista kytkeä melko vaivattomasti antamaan etuuksia myös muille ajoneuvoille, kuten palo- ja pelastustoimelle. Tällöin liittymien aiheuttamat viivytykset voidaan minimoida myös silloin kun kyseiset ajoneuvot ovat hälytysajossa. Hälytysajoneuvojen etuusille voidaan esimerkiksi myöntää korkein prioriteetti. Tämä takaa lähes aina etuuden saamisen ja minimoi todennäköisyyden, jolla ajoneuvo joutuu ajamaan punaisia päin, jolloin myös liikenneturvallisuus paranee merkittävästi.

Lisäksi on otettava huomioon, että kehittyneillä järjestelmillä, voidaan merkittävästi vaikuttaa siihen, että muulle liikenteelle koituvat haitat pysyvät mahdollisimman pieninä ilman, että se vaikuttaisi etuuksien tehokkuuteen joukkoliikenteen kannalta. Tämän toteutumiseksi järjestelmältä vaaditaan kuitenkin kykyä paitsi karsimaan turhat etuudet pois esimerkiksi aikataulusidonnaisuuden myötä, myös kykyä määrittellä etuuden tarpeellinen kesto tarkasti.

Luvussa 3 on tarkasteltu tarkemmin eri kaupunkien toteutuksien vaikutuksia myös muulle liikenteelle, jonka avulla voidaan havainnollistaa tarkemmin toteutuksien tarkempia vaikutuksia eri toteutustavoilla.

3 AKTIIVISTEN LIIKENNEVALOETUUKSIEN KÄYTTÖ

3.1 Aktiiviset liikennevaloetuuudet maailmalla

Liikennevaloetuuksia, niin passiivisia kuin aktiivisiakin, on ollut käytössä jo useamman vuosikymmenen ajan useissa kaupungeissa ympäri maailmaa. Etenkin Euroopassa on panostettu merkittävästi aktiivisten etuusjärjestelmien käyttöönottoon ja kehitykseen ja suurimmissa kaupungeissa etuudet ovat jo laajalti käytössä niin paikallisliikenteen, kuin kaukoliikenteen ajoneuvoille.

Toteutetut etuudet pohjautuvat pääsääntöisesti tien pintaan tai sivuille asennettuihin sensoreihin, mutta uusimmissa toteutuksissa myös ajoneuvojen paikannukseen. Kuitenkaan puhtaasti reaaliaikaiseen paikkatietoon perustuvia järjestelmiä ei tähän mennessä ole toteutettu kovinkaan monia.

3.1.1 Tilanne yleisesti Euroopassa

Eurooppa on monella tapaa ollut edelläkävijä joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien kehittämisessä. Ensimmäiset joukkoliikenteen liikennevaloetuuudet on otettu käyttöön Euroopassa vuonna 1968 ja menetelmiä on tämän jälkeen kehitetty varsin laajalti ja erilaisia tekniikoita onkin käytössä useissa kaupungeissa varsin monipuolisesti (Kim 2004, s. 16). Erilaisia adaptiivisia toteutuksia, joiden vaikutuksia on tutkittu Euroopassa, on muutamassa kaupungissa niin Ruotsissa, Saksassa, Englannissa, kuin Sveitsissäkin. Lisäksi pienemmän skaalan toteutuksia löytyy useasta muustakin maasta.

Liikennevaloetuuksien tilannetta on etenkin Euroopan laajuisesti hyvin vaikea yleistää, sillä vaikka useimmissa suurkaupungeissa etuudet onkin käytössä, ovat toteutukset hyvinkin erilaisia. Tämän vuoksi niiden vaikutukset on todettu Kimin (2004, s. 16) mukaan vaihteleviksi ja pääasiassa vertailukelvottomiksi. Esimerkiksi Lontoossa joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien avulla on pystytty vähentämään liikennevalojen aiheuttamia pysähdysaikoja jopa 32%, kun taas Cardiffissa erilaisella toteutuksella hyödyt ovat jääneet vain 4% kokoluokkaan (Hounsell et al. 2008, s. 50).

Jo näiden tuloksien perusteella voidaan huomata, kuinka suuri vaihtelu erilaisilla etuusjärjestelmillä on hyötyjen osalta. Siten erilaiset toteutustavat eivät ole helposti verrattavissa toisiinsa, paitsi erilaisen toteutuksen, myös erilaisten ympäristöjen ja liikennevalo-ohjaustapojen vuoksi. Lisäksi on huomioitava, että tutkimuksissa yhdelläkin järjestel-

mällä on saattanut olla hyvin erilaisia vaikutuksia kaupungin sisällä vaihtelevista olosuhteista johtuen. Kuitenkin jo näiden tulosten perusteella voidaan vaivatta todeta liikennevaloetuuksien olevan tehokas tapa nopeuttamaan ja auttamaan joukkoliikennettä kohti täsmällisempää liikennöintiä.

3.1.2 Tilanne Suomessa

Tällä hetkellä eniten joukkoliikenteen etuuksia on käytössä Helsingissä, jossa etuuksia on kehitetty jo 1970-luvulta lähtien. Alkuun etuuksien kehittäminen kohdistui pelkästään raitiovaunujen etuuksiin, mutta 1990-luvulta lähtien myös bussien etuuksia on alettu ottamaan käyttöön lisääntyvissä määrin. (Oinas 2000, s. 7)

Nykyään Helsingissä on käytössä joukkoliikenteen liikennevaloetuuudet varsin laajassa mittakaavassa sekä linja-autoilla että raitiovaunuilla. Myös muualla maassa on liikennevaloetuuksia lähdetty viimeisen vuosikymmenen aikana kehittämään yhä suuremmissa määrin. Tällä hetkellä kehitys on kuitenkin vasta siinä vaiheessa, että joukkoliikenteen liikennevaloetuuksia on laajemmassa mittakaavassa käytössä vain pääkaupunkiseudulla, sekä Tampereella. Myös Oulussa on ollut käytössä joukkoliikenteen liikennevaloetusjärjestelmä, mutta tällä hetkellä järjestelmän toiminnassa on ongelmia, eikä etuuksia toteuteta käytännössä ollenkaan. Lisäksi etuuksia on Turussa kehitetyllä SYVARI -tekniikalla otettu käyttöön muutamissa liittymissä Lahdessa, Turussa ja Jyväskylässä. Näissä liittymissä on hyödynnetty pitkäsilmuikkailmaisimia tiessä, jonka avulla voidaan erotella bussit muusta liikenteestä.

On kuitenkin huomioitava, että liikennevaloetuuksien kehittäminen on nostettu yhdeksi kansallisen älyliikenteen kärkihankkeista ja etuuksien kehittäminen on tällä hetkellä hyvinkin aktiivista. Oletettavaa onkin, että seuraavien vuosien aikana tullaan joukkoliikenteen etuuksia kehittämään merkittävästi Suomessa.

3.1.3 Esimerkkejä toteutuksista

Seuraavissa kappaleissa on esitelty pääpiirteittäin muutamia aktiivisten liikennevaloetuuksien toteutuksia suuremmissa Euroopan kaupungeissa. Esiteltyjä järjestelmiä on tarkasteltu myös näistä tehtyjen vaikutustutkimusten tuloksien avulla siinä määrin, kun ne ovat Tampereen järjestelmän kannalta relevantteja.

Tuloksia tarkastellessa on kuitenkin huomioitava, että ne pääsääntöisesti kohdistuvat vain pienelle alueelle, harvoin kattaen edes kokonaista reittiä yhdellä linjalla. Tämän vuoksi näitä on pidettävä suuntaa-antavina, vaikkakin vaikutuksia on pystytty arvioimaan suuremmassa mittakaavassa pienen alueen tuloksien pohjalta. Ainoana poikkeuksena tähän on Lontoon alueen toteutus jota on tutkittu huomattavasti laajemmin kuin muita toteutuksia. Tämän vuoksi Lontoon tutkimusten tulokset ovat myös merkittävimmissä roolissa tämän työn kannalta.

3.1.3.1 Lontoo

Vuonna 2005 Transport of London (TfL) hankki yhden maailman suurimmista reaaliaikaisista matkustajainformaatio- ja ajoneuvoseurantajärjestelmistä helpottamaan lyhyellä aikavälillä vuosia kestäneiden ali-investointien synnyttämää kapasiteettivajetta joukkoliikennejärjestelmässä. Uusi järjestelmä, iBus, sisälsi kokonaisuudessaan jopa 8 000 ajoneuvon GPS-paikannuksen, sekä varauksen jopa 16 000 ajoneuvoon laajentamiseen. Paikannuksen lisäksi järjestelmään toteutettiin ensimmäisessä vaiheessa 500 reaaliaikaisen näyttötaulun ohjauksen. Vuonna 2006 järjestelmään päätettiin lisätä näiden lisäksi myös joukkoliikenteen etuudet yli 3 200 liittymään.

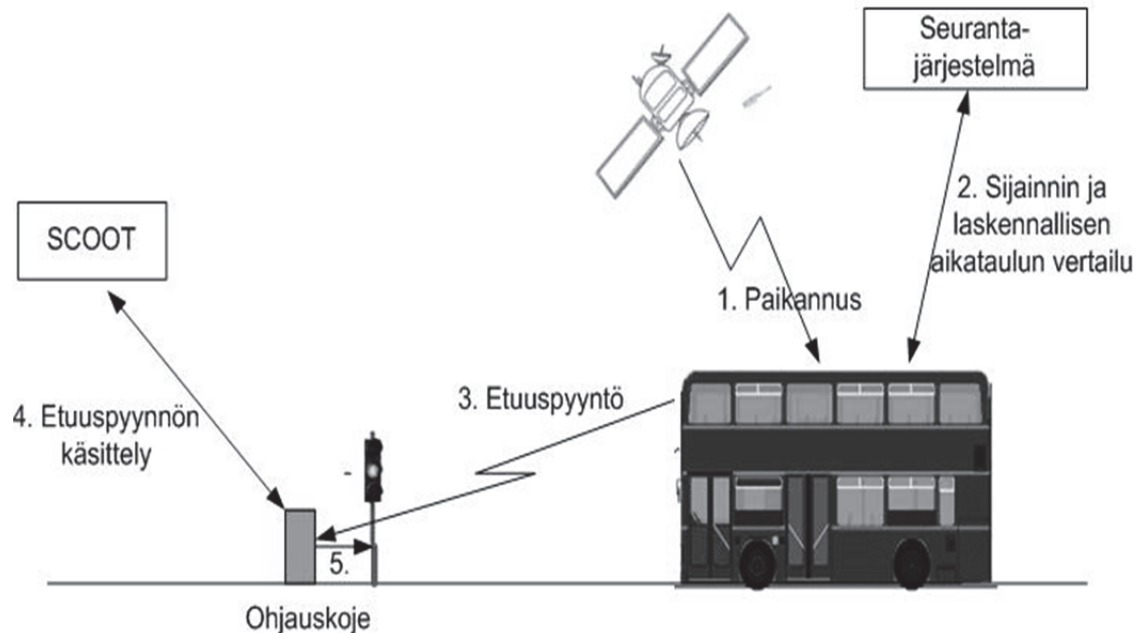
Etuudet toteutettiin hyödyntäen selektiivistä ajoneuvotunnistusta, jonka avulla joukkoliikenteen ajoneuvot pystyttiin erottelemaan automaattisesti muusta liikenteestä. Lontoossa oli jo ennen järjestelmän käyttöönottoa yli 20 vuoden kokemus joukkoliikenteen liikennevaloetuksista. Aiemmat etuusjärjestelmät pohjautuivat silmukkailemisiin ja/tai bussien lähettimien kanssa kommunikoiviin tunnistimiin liittymäalueilla ja antoivat etuudet jokaiselle joukkoliikenteen ajoneuvolle. Kuitenkin uuden järjestelmän myötä myös etuuksiin haluttiin kehittää uudempi ja edistyneempi menetelmä, joka olisi hyödynnettävissä laajemmin ja tehokkaammin koko Lontoon alueella. (Gardner et al. 2009, s. 18)

Uuden järjestelmän tekninen toteutus pohjautuu GPS-paikannukseen ja GPRS-tiedonsiirron hyödyntämiseen, jossa ajoneuvolaitteisto vastaanottaa paikkatiedon keskimäärin kerran sekunnissa. Tarkempi sijainnin seuranta tapahtuu keskusyksiköllä, jonne ajoneuvojen tiedot lähetetään keskimäärin 30 sekunnin välein, sekä lisäksi aina pysäkkialueelta poistuttaessa. Tämän sijaintitiedon perusteella keskusyksikkö voi verrata sijaintia aikatauluun ja määrittää ajoneuvolle tietyn prioriteetin liikennevaloetuksia varten. Tieto saapuvasta ajoneuvosta lähetetään ohjauskojeen lähelle sijoitetulle vastaanottimelle yhdessä keskusyksikön määrittelemän prioriteettiluokan kanssa. (Gardner et al. 2009, s. 45)

Vastaanotin välittää etuuspyynnön SCOOT -ohjaustapaa hyödyntävälle ohjauskojeelle, joka toteuttaa pyydetyn etuuden ajoneuvolle. Signaali ohjauskojeelle lähetetään ajoneuvolaitteen avulla niin sanottujen virtuaalisten bussi-ilmaisimien kohdalla, joiden sijoittelussa on hyödynnetty laajempaa laskentaa optimaalisesta etäisyydestä eri ajonopeuksilla. Yksi järjestelmän vahvuuksista onkin, ettei se vaadi erillisiä kiinteitä ilmaisinasennuksia tierakenteisiin, jonka ansioista kustannukset on mahdollista pitää matalina ja ilmaisinpisteitä voidaan tarpeen mukaan vaivattomasti muuttaa. (Clarke et al 2007, s. 2).

Erilaisten AVL(automated vehicle locationing)-järjestelmien käyttöönotto mahdollisti myös iBUS:ssa ajoneuvojen sijainnin vertailun suhteessa aikatauluun. Tämän myötä ehdollisten etuuksien hyödyntämisen muunkin, kuin pelkän ajoneuvon prioriteetin tai luokan perusteella mahdollistui. iBUS hyödyntää AVL-järjestelmää lähettämällä

SCOOT-ohjauskojeelle tiedon ajoneuvon saapumisesta yhdessä sen hetkisen statuksen(aikataulussa/etuajassa/myöhässä) kanssa, jonka avulla SCOOT voi määrittellä ajoneuvon etuudelle prioriteetin pohjautuen ajoneuvon luokkaan ja myöhässä olon määrään. (Gardner et al. 2009, s. 47)



Kuva 12. iBus-järjestelmän joukkoliikenteen eduuden toiminta. (Mukailtu lähteestä Gardner et al. 2009, s. 22)

Etuuksia myöntäessä Lontoossa hyödynnetään mahdollisimman paljon vihreän aiennusta ja pidennystä. Vaikka vaihe väliin jättämällä saadaan tutkimusten mukaan jopa 2,5-6 sekunnin nopeutuksia joukkoliikenteen läpimenoaikoihin yhdessä liittymässä ja vain 1 sekunnin lisäys muista suunnista tuleville ajoneuvoille, on Lontoossa, kuten muuallakin Englannissa pyritty minimoimaan vaiheiden väliin jättämistä etuuksia myönnettäessä turvallisuus-syistä. Tämä on tehty aiempiin analyysihin pohjautuen, sillä on arvioitu, että etenkin säännöllisesti tietyn liittymän läpi ajava autoilija aiheuttaa helposti vaaratilanteita ennakoimattaan liikkeensä normaalin kierron mukaisesti, jos sen vaiheistusta ollaankin muutettu.

Lontoon järjestelmä antaa suuren volyyminsä ja järjestelmästä tehtyjen lukuisten tutkimusten ansiosta oivallisen pohjan etuusjärjestelmien tarkastelulle. iBusin avulla on todettu saatavan joukkoliikenteen kannattavuus nousuun ja sen käyttömäärät kasvamaan. Clarken ja kumppaneiden (2007, s.2) mukaan osittain juuri järjestelmän ansiosta joukkoliikenteen suosio on lisääntynyt jopa 38% vuodesta 1999. Lisäksi he toteavat, että arvioidun 15 vuoden elinkaaren aikana järjestelmän kustannukset nousevat kokonaisuudessaan noin 40 miljoonaan puntaan ja kokonaishyödyt jopa 147 miljoonaan puntaan. Hyötjä arvioitaessa on otettu huomioon sekä aikataulusäästöt, matkustajamäärien lisääntymiset, kuin myös liikennöinnin taloudellisuuden paraneminen. Tämä johtaa siis koko-

naisuudessaan järjestelmän arvioitun elinkaaren aikana vuositasolla keskimäärin yli 7 miljoonan punnan säästöihin joukkoliikenteen toiminnassa.

Tehtyjen tutkimusten perusteella etuuksien vaikutuksista bussien viivytyksiin liittymissä on saatu positiivisia tuloksia. Tulosten perusteella on todettu viivytysten vähentyneen jopa 50% liittymissä silloin, kun liikennemäärät ovat kohtuullisen matalat verrattuna liittymän maksimivälityskykyyn ja 5-10% silloin kun liikennemäärät lähestyvät maksimivälityskykyä.

Keskimäärin vaikutukset ajoaikojen pienenemiseen ovat Lontoossa olleet 3-5 sekuntia SCOOT -liittymää ja 9 sekuntia yksittäistä syrjäisempää liittymää kohden. Näiden johdolla täsmällisyys on parantunut huomattavasti lisäten samalla matkustajamääriä. Kuten joukkoliikenteen sujuvuuden, myös muulle liikenteelle aiheutuvat viivytykset ovat tutkimusten perusteella täysin riippuvaisia sen hetkisistä liikennemääristä. (Clarke et al. 2007, s. 2 ja Gardner et al. 2009, s. 35)

Hounsell ja kumppanit (2008, s. 5) tutkivat Lontoon liikennevaloetuksista saatuja hyötyjä kolmella erilaisella strategialla. Tutkimuksien tulokset on esitetty taulukossa 2. Tuloksista huomataan, että Lontoossa on saatu suurimmat aikasäästöt myöntämällä kaikille busseille etuus jokaisessa tilanteessa. Täsmällisyys joissain tilanteissa jopa heikkeni myönnettäessä etuudet aina, kun taas suurimmat hyödyt täsmällisyyden paranemiseksi saatiin, kun vain myöhässä oleville ajoneuvoille myönnettiin etuudet. Tässä tilanteessa luonnollisesti keskimääräinen odotusaika edelliseen tilanteeseen kasvoi, mutta myös muun liikenteen häiriöt pienenivät. Puolestaan silloin kun myöhässä oleville ajoneuvoille asetettiin korkea prioriteetti ja muille alempi, jolla myönnettiin etuuksia vain vihreän pidennyksen ja aiennuksen avulla saatiin aikaa suurimmat kustannussäästöt.

Taulukko 2. Lontoon liikennevaloetuksien tutkitut vaikutukset. (Hounsell et al, 2008, s. 5)

Hyöty	Strategia		
	Etuus kaikille	Korkea prioriteetti myöhässä oleville, muille ei etuutta	Korkea prioriteetti myöhässä oleville, muille vihreän pidennys
Viivytysten väheneminen	15-30% (3-6s/liittymä)	8-15% (1,5-3s/liittymä)	10-20% (2-4s/liittymä)
Täsmällisyys	-4%	3-10%	0-3%
Muun liikenteen viivytys	0-5%	0-3%	0-5%
Taloudelliset hyödyt	1 %	0,50 %	1,50 %

Näiden havaintojen pohjalta voidaan päätellä, että kaikki kolme strategiaa ovat kannattavia joukkoliikenteen toiminnan kannalta. Strategiaa valitessa tulee kiinnittää huomiota siihen, halutaanko saavuttaa suurimmat aikasäästöt, paras täsmällisyys vai alimmat operointikustannukset. Toisessa ja kolmannessa vaihtoehdossa on kuitenkin järkevää huomioida myös se, että yleensä korkeamman prioriteetin linjoiksi määritellään ne, joissa matkustajamäärät ovat suurimmat. Tällöin suhteutettuna matkustajamääriin, viivytykset itse asiassa ovat pienempiä kuin yllä olevien lukujen perusteella voisi tulkita.

Gardner ja kumppanit (2009, s. 39) listaavat myös muita havaintoja, joita Lontoossa on liikennevaloituksiin liittyen tehty. Heidän mukaansa on huomattu muuta liikennettä huomattavasti suuremmin haittaavaksi ylimääraisten vaiheiden lisääminen, kuin vaiheiden pidennykset ja aiennukset, sillä ylimääraisten pysähdysten lisäksi se vaikuttaa myös epäsuoraan viereisten liittymien liikennevirtoihin. Muita vaikutuksia joita ollaan havaittu Lontoossa, ovat etuuksia saavien bussien esiintymistiheyden lisääntyessä kokonaisjuvuuden heikkeneminen jatkuvien poikkeuksien esiintymisen myötä. Vaikutukset matkustajaa kohtaan ovat kuitenkin edulliset aina 120 bussiin tunnissa/liittymä asti. Tämän jälkeen etuuksien myöntämisestä aiheutuvat säästöt joukkoliikenteelle eivät enää kykene kompensoimaan muulle liikenteelle aiheutuvia haittoja matkustajamääriinkään suhteutettuna.

Kaiken kaikkiaan Lontoon järjestelmä on hyvin lähellä Tampereen toteutusta etuudenmyöntöperiaatteiltaan ja voidaan olettaa näiden tulosten tukevan Tampereen tutkimusta kattavasti. Kuitenkin Lontoon tapauksessa on huomioitava, että vaikutukset etenkin muun liikenteen kannalta voivat olla huomattavasti suuremmat runsaampien liikennemäärien, ja sitä kautta myös liittymien välityskapasiteetin käyttöasteen ollessa suurempia.

3.1.3.2 Zürich

Zürich on yksi eurooppalaisen joukkoliikenteen kehittämisen huippukaupungeista. 70-luvulta lähtien kaupungissa on tehty määrätietoisesti töitä joukkoliikenteen kehittämisessä ja sen käyttöasteen kasvattamisen eteen. Vuosien määrätietoinen työ on tuottanut tulosta ja nykyään kaupungissa onkin yksi Euroopan korkeimmista joukkoliikenteen käyttöasteista asukaslukuun suhteutettuna.

Zürichissä on pyritty tukemaan joukkoliikenteen käyttöä kolmella tavalla, joilla on pyritty parantamaan täsmällisyyttä: Bussikaistoja lisäämällä, liikennevaloituksia tehokkaasti hyödyntämällä, sekä edistyneitä joukkoliikenteen seurantajärjestelmiä käyttämällä (Gardner et al. 2009, s. 28). Nash ja Sylvia (2001, s. 75) kertovat, että liikennevaloitussuunnitelmaa suunniteltaessa Zürichin päätettiin lopulta kehittää täysin uusi järjestelmä vastaamaan kaupungin tarpeita ja vaatimuksia. Tähän päätökseen päädyttiin lopulta, koska mikään olemassa oleva järjestelmä ei vastannut vaatimuksia tarpeeksi tarkasti.

Tätä päätöstä edelsi kokeilu perinteisemmällä etuusjärjestelmällä, jossa kuljettajat painoivat ajoneuvolaitteessa olevaa etuuspyyntö-painiketta lähestyessään liittymä-aluetta. Järjestelmä havaittiin nopeasti kuitenkin toimimattomaksi ja aiheuttavan enemmän häiriöitä liikennevirtoihin kuin ilman järjestelmää, jonka jälkeen kehitystyö uuden järjestelmän toteuttamiseksi aloitettiin. Etuusjärjestelmän kehittämisen lähtökohtana oli, että etuudet ovat kiinteä osa liikennevalojen ohjausta, eivät pelkkä lisäosa. Tämä lähtökohta luonnollisesti aiheutti koko liikennevalo-ohjausjärjestelmän uudistamistarpeen.

Tämän seurauksena kaupunkiin on perustettu keskitetty liikennevalojen ohjauskeskus, joka ohjaa seitsemää eri aluetta, jokainen sisältäen noin 60 liikennevalo-ohjattua liittymää ja yhteensä 3000 ilmaisinta. Liikennevaloetuudet joukkoliikenteelle on käytössä kaikissa valo-ohjatuissa liittymissä.

Zürichin järjestelmä on toteutettu siis ehdottomana, silmukkailmaisuuun perustuvana, jolloin jokaiselle silmukan tunnistamalle joukkoliikenteen ajoneuvolle myönnetään etuus. Järjestelmän tavoitteena on ollut aikaansaada lyhyemmät matka-ajat mahdollisimman yksinkertaisella toteutuksella, eikä esimerkiksi ajoneuvojen paikannusta ja ajantasaisia aikatauluja ole koettu tarpeellisiksi. (Gardner et al. 2009, ss. 28-29)

Liikennevalojen ohjaus tapahtuu dynaamisesti liittymä- tai liittymäryhmäkohtaisesti erikseen kehitetyn ohjelman avulla, joka ottaa huomioon sekä liittymän geometrian, että reaaliaikaisen, tiehen asennettujen ilmaisimien keräämän tiedon liikennemääristä. Liikennemäärädata välitetään sensoreilta ohjelmalle, joka hyödyntää tämän, sekä muiden liittymien liikennemäärätietoja reaaliajassa laskeakseen optimaalisen kierron jokaiselle kohteelle. (Nash & Sylvia 2001, s. 78)

Dynaamisen toteutuksen ansiosta poikkeukset, kuten etuuksia vaativat joukkoliikenteen ajoneuvot voidaan käsitellä kuten mikä tahansa poikkeustilanne, eikä se vaikuta häiritsevästi muuhun liikenteeseen, kuten aiempi, staattisen kierron keskeyttäminen. Uuden järjestelmän käyttöönoton jälkeen havaittiinkin, että liittymien kapasiteetti on kasvanut selvästi, sillä liikennemäärät ja läpimenoajat pysyivät samana, vaikka joukkoliikenne hyötyi etuuksien myötä uudistuksesta merkittävästi. Käytännössä siis ylimääräinen kapasiteetti on uudessa järjestelmässä kohdennettu joukkoliikenteelle, kun taas vanhassa järjestelmässä kapasiteetti pysyi samana ja joukkoliikenne söi muulta liikenteeltä merkittävästi kapasiteettia. (Nash & Sylvia 2001, s. 79)

Käytännössä siis Zürichin valoetuuksien toteuttaminen keskittyi suurilta osin vain liikennevalojen ohjauslogiikan kehittämiseen siten, että etuuspyyntöjen toteuttaminen ei häiritse suuresti liikennevirtoja laajemmalla alueella. Gardnerin ja kumppaneiden (2009, s. 29) mielestä järjestelmän yksi kriittisimmistä ominaisuuksista on, että se saa jatkuvasti tietoa tiettyä liittymää lähestyvistä joukkoliikenteen ajoneuvoista muiden liittymien

tiedoista. Näin se osaa näin ennakoida tulevan pyynnön ja samalla minimoimaan turhat vihreät vaiheet, joka on yksi järjestelmän suunnitelman lähtökohdista.

Jotta tämä tavoite toteutuu ja järjestelmä toimii tavoitellulla tasolla, on sen tiedettävä sekunnin tarkkuudella milloin ajoneuvo saapuu liittymäalueelle. Turhien vihreiden vaiheiden minimoinnin tavoittelulle on kaksi syytä; tehokkuuden lisääminen ja muun liikenteen tyytyväisenä pitäminen. Ensimmäisen tavoitteen ymmärtäminen on täysin ymmärrettävä, mutta toista tavoitetta ei aina tule tuotua esiin riittävästi. Järjestelmät toimivat kuitenkin niin hyvin, että on mahdollista, etteivät muut kuljettaja edes huomaa joukkoliikenteen ajoneuvojen suosimista yleensä. Nash ja Sylvia (2001, s. 79) huomauttavatkin, että vaikkakin muiden autoilijoiden hyväksyntä on kokonaisuuden kannalta hyvin pieneltä tuntuva syy, voi sen merkitys olla lopulta kriittinen järjestelmän hyväksynnän kannalta.

Kaiken kaikkiaan Zürichissa on siis onnistuttu luomaan tehokas etuusjärjestelmä ilman, että se olisi vaikuttanut negatiivisesti muuhun liikenteeseen. Etuusjärjestelmän avulla on onnistuttu nostamaan joukkoliikenteen osuus kaikista kaupungissa tehdyistä matkoista jopa 42 prosenttiin (Gardner et al. 2009, s. 29). Lisäksi järjestelmän eduiksi lasketaan sen kyky kontrolloida keskusta-alueelle suuntautuvia liikennevirtoja niin, että ruuhkilta vältytään, jolloin myös kaupunkialueen viihtyisyys lisääntyy.

Vaikutukset Zürichin järjestelmä uudistuksen osalta ovat mielenkiintoisia myös Tampereen kannalta. Vaikka kaupungissa on yhä kasvavissa määrin havaittu tapahtuvan muuttoa kaupungin laitamille, ei henkilöautojen osuus ole kasvanut merkittävästi, kun joukkoliikenteen käyttöaste on saatu tehokkaasti nostettua merkittävään rooliin.

3.1.3.3 Tukholma

Ruotsin pääkaupungissa Tukholmassa on ollut pitkään jo käytössä joukkoliikenteen liikennevaloetuedet. Kaupungissa on kehitetty muun muassa PRIBUSS - etuusjärjestelmä jo 20 vuotta sitten. PRIBUSS hyödyntää etuuksia myöntäessä kaikkia luvussa 2.3 esitettyä toteutustapoja. PRIBUSSn etuedet perustuvat ajoneuvon automaattiseen paikannukseen, pohjautuen sekä reittitietoihin, sijainnin ennustamiseen aiempien sijaintitietojen pohjalta, sekä GPS-dataan jota hyödynnetään reitin varrella olevien tarkastuspisteiden kohdalla korjaamaan ennusteen mukainen sijaintitieto.

Järjestelmä kommunikoi omalla radiokanavallaan joukkoliikennekeskuksen kanssa, jossa sijaintitietojen pohjalta luodaan aikatauluennuste kyseiselle ajoneuvolle. Lisäksi järjestelmä kommunikoi radioverkon välityksellä kontrollerin, niin kutsutun LISA-järjestelmän kanssa, luoden saapumisaika-arvioita seuraavaan liikennevalo-ohjattuun liittymään. Järjestelmän tavoitteena on myöntää etuus niin, että ajoneuvo ei joudu pysähtymään valoissa ollenkaan. (Al-Muddhafar 2006, s.10)

Al-Muddhafar tuo lisäksi esiin, että PRIBUSS:n ongelmaksi kuitenkin havaittiin sen heikko välityskyky ruuhkaisena aikana, kun ajoneuvon paikannus ei tapahtunut aina täysin reaaliajassa. Etuudet eivät siten aina vastanneet todellisen sijainnin mukaista tarvetta. Osana EU:n rahoittamaa Trendsetter-projektia Tukholmassa pyrittiin luomaan kaupunkiin entistä integroidumpi ympäristö tehokkaan kaupunkiliikenteen hallintaan. Projektissa testattiin vuosina 2003-2005 SPOT/UTOPIA-tekniikalla oleva etuusjärjestelmä, joka on alunperin kehitetty Italiassa Torinon kaupungissa. Järjestelmän vahvuudeksi oli määritelty muun muassa jatkuvalla kierrolla tapahtuvan optimoinnin toteuttaminen liittymiin, vallitsevien liikenneolosuhteiden pohjalta. Tämän avulla pyrittiinkin vastaamaan PRIBUSSin selkeisiin puutteisiin muun muassa etuuksien toteutuksen osalta ruuhkaisina aikoina. Hounsell ja kumppanit (2009, ss. 24-25) toteavat järjestelmän etuna edelliseen verrattuna olevan sen parempi mukautuminen vallitsevaan liikennetilanteeseen, sekä kyky huomioida myös muu liikenne joukkoliikenteen etuuksia myöntäessä.

SPOT-ohjauslogiikkaa hyödyntävän etuuden vahvuutena aikaisempaan järjestelmään oli sen suurempi joustavuus. Järjestelmä laskee kullekin liittymälle optimaalisen kierron kolmen sekunnin välein, sen sijaan, että ohjauskojeelle olisi syötetty ennalta määritelty kierto, jossa on vain pieni mahdollisuus joustaa (Civitas 2005, s. 47). Hounsellin ja kumppaneiden (2009, s. 25) mukaan projektin myötä uuden järjestelmän avulla liittymien välityskyky paranikin 5% ja ajoajat yleisesti lyhenivät 10% entisestä.

Al-Muddhafar (2006) raportoi väitöskirjassaan tarkemmin näiden kahden erityyppisen etuusmenettelyn vaikutuksia Tukholmassa. Väitöskirjassa tarkasteltiin sekä PRIBUSSin, että SPOT-koordinoitujen etuuksien vaikutuksia verrattuna tilanteeseen, jossa etuusjärjestelmää ei ole käytössä ollenkaan. Tulokset perustuivat Ruotsin tiehallinnon rahoittamaan laajempaan vuosina 2000-2005 tehtyyn tutkimukseen, jonka avulla järjestelmien vaikutuksia pyrittiin tarkastelemaan laajemmin. Tutkimuksen mukaan esimerkiksi pääliittymän läpimenoaika pieneni busseilla 14% PRIBUSSin ja 12% SPOTn käytöllä, kun taas muun liikenteen odotusajat kasvoivat 24% PRIBUSSin ja 30% SPOTn käytöllä.

Al-Muddhafarin tutkimuksessa tuodaan esiin, että tarkasteltaessa laajemmalla, 5 valo-ohjatun liittymän välillä PRIBUSSn vaikutukset bussin ajoaikaan oli 11% nopeutus, kun taas SPOTn avulla aikaansaatiin 28% nopeutus. Muulle liikenteelle ei PRIBUSSn avulla syntynyt viivästyksiä ja SPOTn avulla myös muun liikenteen odotusajat lopulta vähenivät 6,5%. Positiivinen vaikutus syntyi suurelta osin sen vuoksi, että myös muu liikenne pääsi hyödyntämään ajoneuvojen vihreää aaltoa.

Yhteenvetona tutkimuksen tuloksista voidaan tulkita, että siinä missä SPOT toimii parhaiten ympäri vuorokauden laajalla tieverkolla, PRIBUSSn avulla pystyttiin saamaan taas parempia tuloksia yksittäisissä liittymissä. Tulokset ovat siis hyvin erilaiset riippu-

en tarkastelun laajuudesta ja osoittavat, että yksittäisen liittymän avulla saatavat tulokset eivät välttämättä riitä kertomaan varsinaista tilannetta, kun pyritään hahmottamaan vaikutuksia koko kaupungin laajuudella. Kuten Al-Muddhafarkin tuo esiin (2006, s. 36(sect. 4) tulokset kahden eri järjestelmän välillä voivat olla hyvin erilaiset. Tämän perusteella voidaan tulkita, että lopullinen paremmuusjärjestys riippuu pitkälti siitä, mitä järjestelmän avulla tavoitellaan saavutettavan.

3.1.3.4 Helsinki

Helsingin joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä (Helmi) on otettu käyttöön vuoden 1999 alussa. Käyttöönotto aloitettiin ensin yhdellä raitiolinjalla, sekä yhdellä bussilinjalla osana joukkoliikenteen telematiikan kehittämissanketta. Myöhemmin laajennettu toteutus pitää sisällään joukkoliikenteen liikennevaloetuksien lisäksi reaaliaikaisen matkustajainformaation, aikatauluseurannan, sekä mahdollisuuden kulunohjaukseen. Järjestelmä koostuu keskusjärjestelmän ympärillä olevasta tietoverkosta, ajoneuvolaitteista, reaaliaikaista informaatiota tarjoavista pysäkinäytöistä, radioverkosta, sekä varikkoradiosta. (Seppänen 2007, s. 5)

Järjestelmän toiminta perustuu ajoneuvojen paikantamiseen GPS:n, sekä tarkkuusmatkamittarin, eli odometrin avulla. Keskimäärin järjestelmä paikantaa ajoneuvon sijainnin kerran kymmenessä sekunnissa ja välittää tiedon keskusjärjestelmälle.

Helsingin kaupunginvaltuusto asetti vuonna 2005 tavoitteeksi nopeuttaa joukkoliikenteen toimintaa kuudella prosentilla vuoteen 2012 mennessä. Tähän tavoitteeseen päästäkseen, koettiin joukkoliikenteen liikennevaloetuksien tehostaminen parhaimmaksi vaihtoehdoksi ja siten myös suurimmaksi kehityskohteeksi, jonka avulla tähän tavoitteeseen päästäisiin.

Kuitenkin, HELMI:n alkuperäinen toteutus koettiin ongelmalliseksi hallinnoinnin kannalta, kun muutostilanteissa (aikataulu- ja linjamuutokset) ollaan oltu riippuvaisia laite-toimittajan henkilöstöstä. Lisäksi laitehankinnat olivat osoittautuneet hintaviksi, verrattuna uusimpiin tarjolla oleviin vaihtoehtoihin ja laitteiden toiminta on havaittu hetkittäin vialliseksi. Tämä puolestaan on johtanut satunnaiseen järjestelmän toimimattomuuteen ja väärän informaation tuottamiseen. Näiden syiden pohjalta täysin uuden järjestelmän kehittäminen koettiin parhaaksi vaihtoehdoksi etuuskien tehostamiseksi. (Vanhainen et al. 2008, s. 2)

Näin ollen Helsingissä aloitettiin Helmi2 -työnimellä kulkevan järjestelmän kehittäminen, jonka pilotointi aloitettiin vuonna 2007. Uuden järjestelmän tarkoituksena oli korvata vanha Helmi-järjestelmä uudella ja laajentaa se sisältämään kaikki Helsingin bussilinjat. Järjestelmähankinnan kilpailutus kuitenkin keskeytettiin, koska tiedossa oli tulossa oleva koko Pääkaupunkiseudun kattavan liikennevaloetus-, matkustajainformaatio- ja rahastusjärjestelmän hankinta. Tämän tulossa olevan järjestelmähankinnan vuoksi ei

Helsingissä haluttu investoida väliaikaiseen ratkaisuun. Tällä hetkellä uuden järjestelmän (LIJ2014) kilpailutus on päättynyt ja asiaa käsitellään markkinaoikeudessa. Nähtäväksi jää, koska uusi järjestelmä tulee olemaan käytössä suunnitellussa laajuudessa.

Helmi- järjestelmän vaikutuksia on tutkittu laajemmin heti järjestelmän käyttöönoton jälkeen, kun on pyritty löytämään perusteluita järjestelmän laajentamiselle, mutta uuden järjestelmän kehittämisen aikana tutkimukset ovat jääneet pienempään rooliin. Lisäksi huomioitavaa on, että Helsingissä on ollut jo ennen Helmiä käytössä raitiovaunuille melko kattavat liikennevaloetuuudet, joten vaikutukset ovat jääneet osittain tämän takia huomattavasti pienemmiksi kuin bussilinjoilla.

Lehtonen ja kumppanit(2001, s. 24) tutkivat etuuksien vaikutuksia kahdella linjalla Helsingissä. Helmi on tutkitusti nopeuttanut joukkoliikennettä ja tutkimuksen mukaan linjalla 23 tehdyt mittaukset ovat osoittaneet bussin ajoajan vähentyneen yli 6,5 minuuttia (n.10%) ajokierrosta kohti ja vuorovälin täsmällisyys parani 15%, sekä pysäkillä saapumisaikojen täsmällisyys jopa 50%. Lisäksi Seppäsen (2007, s. 13) mukaan toisessa tutkimuksessa linjalla 14 tehdyt mittaukset osoittivat ajoaikojen vähentyneen etuuksien myötä 7,5 minuuttia, eli myöskin noin 10%, jolloin tutkimusten tulokset tukevat toisiinsa ja osoittavat hyötyjen olevan samanlaiset kahdella eri linjalla.

Helsingin kaupungin verkkosivujen mukaan raitiovaunulinjalla vaikutukset olivat toisenlaisia liikennevalojen viivytysten vähennyttyä vain yhden minuutin, jonka hyöty katosi lähes kokonaan kasvaneiden matkustajamäärien aiheuttaman pysäkkialueella vietetyn ajan kasvun myötä. Kuitenkin raitiovaunuilla sekä vuorovälien, että pysäkeille saapumisen täsmällisyys parani 15%. Järjestelmän arvioitiin tulosten perusteella olevan kustannustaloudellisesti kannattava ja sen hyötykustannussuhteen laskettiin olevan jopa 3,3. Esimerkiksi Seppäsen (2007 s. 16) mukaan vuoteen 2006 mennessä investointeja järjestelmään oli tehty 3M€, kun vuosittaiset säästöt olivat raideliikenteelle noin 0,9M€ ja bussiliikenteelle 1,5M€.

3.1.3.5 Oulu

Oulussa on jo 80-luvulta lähtien toteutettu joukkoliikenteen liikennevaloetuuksia pitkää silmukakkailmaisinta hyödyntäen. Vuodesta 2005 lähtien Oulussa on myös ollut käytössä OULA-joukkoliikenteen informaatiopalvelu, johon liittyen on toteutettu satelliittipaikannukseen pohjautuvat liikennevalot 50:een liikennevaloliittymään. (Oulun kaupunki, 2011) Järjestelmän merkittävänä ongelmana tällä hetkellä on kuitenkin ajoneuvolaitteiden vanhentuneen tekniikan myötä esiin noussut päivitystarve, eikä etuudet tällä hetkellä ole käytännössä käytössä ollenkaan.

Oulussa on vuoden 2011 aikana otettu käyttöön uusi hälytysajoneuvojen liikennevaloetusjärjestelmä. Järjestelmän periaatteena on, että hälytysajossa oleva ajoneuvo saa automaattisesti etuuden jokaisen liittymän jokaisella tulosuunnalla. Tällä hetkellä jär-

jestelmä toimii 10 ajoneuvolla, sisältäen 60 liittymää. Käynnissä olevan hankinnan myötä lähiaikoina järjestelmä tulee laajenemaan kaikenkaikkiaan 160 liittymään ja 30 ajoneuvoon. Järjestelmä laajentuu todennäköisesti myös muualle Pohjois-Pohjanmaalle ja Kainuuseen sekä mahdollisesti myös poliisin käyttöön.

Järjestelmä toimii suunnitellusti ja vaikutukset ovat merkittävät. Eräässä hälytysajossa 5,8 km matkalla, joka sisälsi 10 liikennevaloliittymää, arvioitu aikasäästö oli noin 2 minuuttia, jota voidaan pitää varsin merkittävänä, kun oletetaan normaalissa kaupunkiliikenteessä keskimäärin tällaisen matkan kestävän noin 10 minuuttia (30km/h vauhdilla). Jo 3 minuutin ajoajan vähennyksellä selvitytymisprosentti nousee kaikissa onnettomuustapauksissa 3% ja etenkin sydänkohtaustapauksissa tämä määrä on huomattavasti suurempi (Pell et al. 2001, s.1387). Pelkästään näiden arvioiden pohjalta voidaan siis todeta liikennevaloetuksien olevan merkittävä tekijä myös pelastustoimen edesauttamisessa.

Hälytysajoneuvojen etuuksien myötä Oulussa päivitetään kaikkien liikennevalokojien toimintalogikka mahdollistamaan erikoisohjaus, joka antaa mahdollisuuden tulevaisuudessa kehittää myös joukkoliikenteen etuuksia ilman uusia merkittäviä muutostarpeita ohjauskojeisiin. Liikennevalojen ohjausjärjestelmän uusinnan myötä tulevaisuudessa Oulussa voikin tulla ajankohtaiseksi päivittää myös joukkoliikenteen etuusjärjestelmä ennemmin kuin hyödyntää nykyistä, vanhentuneella tekniikalla toteutettua järjestelmää. Hälytysajoneuvojen etuudet toteutuvat jatkossakin suuremmalla prioriteetilla.

Kuten monessa muussakin kaupungissa, myös Oulussa on otettu käyttöön SYVARI-ohjaustapa liikennevalo-ohjatuissa liittymissä. Tällä hetkellä SYVARI on käytössä 10 liittymässä ja tulevaisuudessa määrä lisääntyy nopeasti, kun SYVARI otetaan käyttöön kaikissa uusissa ja saneerattavissa liikennevaloissa, pois lukien ainoastaan erillisohjauksessa olevat liittymät. (Talvi, J. 2011)

3.2 **Etuudet Tampereella**

Tampereella on pitkä historia joukkoliikenteen liikennevaloetuksien suhteen. Ensimmäiset etuudet otettiin käyttöön 1980-luvulla keskustauudistuksen myötä ja Tampereella on otettu käyttöön myös Suomen ensimmäinen alueellinen optimoiva ohjausjärjestelmä (SPOT) vuonna 1999, joka toteuttaa myös liikennevaloetuksia. (Oinas 2000, s. 11). Tämän jälkeen kehitys on Tampereella jatkunut vahvana joukkoliikenteen etuuksien osalta tähän päivään ja uuteen joukkoliikenteen informaatiojärjestelmän käyttöönottoon asti, joka kokonaisuudessaan on sekä Suomen, että maailman mittakaavalla edistyksellinen monin tavoin.

3.2.1 Tausta ja tavoitteet

Keväällä 2000 alettiin Tampereella suunnitella GPS -paikannukseen pohjautuvaa Tampereen paikallisliikenteen hallintajärjestelmä PARAS-ta. PARAS -järjestelmän tavoitteena oli tuottaa reaaliaikaista aikataulutietoa matkustajille bussien todelliseen etenemiseen perustuen, sekä tiedottaa kuljettajia ajoneuvon aikataulussa pysymiseen liittyen. Järjestelmä otettiin käyttöön 40 bussin osalta vuonna 2003 ja laajennettiin lopulliseen laajuuteen vuonna 2004. (Happonen & Vihanti 2006, s. 5)

PARAS -järjestelmään kuului myös joukkoliikenteen liikennevaloetuuudet, jotka otettiin koekäyttöön vuonna 2005. Vuonna 2006 etuudet olivat lopulta käytössä 31 liittymässä Tampereen keskusta-alueella. PARAS -järjestelmän hyödyntämä tekniikka kuitenkin vanheni nopeasti ja järjestelmä kytkettiin pois päältä vuonna 2010. PARAS-järjestelmän vaikutuksia on analysoitu vuonna 2006 tehdyssä raportissa, mutta liikennevaloetuuksien vaikutuksia ei tässä raportissa saatu selvitettyä etuuksien toteutuksen myöhäisen ajankohdan vuoksi. PARAS-järjestelmän toteuttamat etuudet eivät kuitenkaan myöhempien havaintojen perusteella toimineet halutulla tavalla ja etuuksia jouduttiin kytkemäänkin osittain pois.

PARAS -järjestelmän lisäksi Tampereella on ollut vahva rooli kansainvälisen JENKA-projektin kehityksessä ja Tampereella SYVARI -ohjelmoituja etuusliittymiä on olemassa laajalti ympäri kaupunkia. Jatkossa kuitenkin kaupungin valoetuuudet tullaan toteuttamaan tukeutuen informaatiojärjestelmän tietoon joukkoliikenteen liikkumisesta.

3.2.2 Uusi liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä

3.2.2.1 Järjestelmän toiminta

Samaan aikaan kun PARAS -järjestelmä oli tulossa tiensä päähän, alkoi Tampereen kaupunki kehittää uutta joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmää. Järjestelmä otettiin pilottikäyttöön kesällä 2010 ja lopullisessa laajuudessaan käyttöönotto tapahtui vuoden 2011 aikana.

Nykyisessä liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmässä ovat kytkettynä kaikki Tampereen paikallisliikenteen bussit, yhteensä noin 170 kappaletta. Järjestelmä pitää sisällään ajoneuvojen paikannuksen, reaaliaikaisen matkustajainformaation tuottamisen, sekä liikennevaloetuuudet. Liikennevaloetuuudet olivat käytössä 32 liittymässä syyskuussa 2011 tutkimuksen alkaessa, vuoden 2011 lopussa laitteet oli saatu yhteensä 90 liittymään. Yhdessä nämä liittymät kattavat noin 55% kaikista Tampereen kaupungin alueen liikennevalo-ohjatuista liittymistä.

GPS -paikannukseen pohjautuva järjestelmä paikantaa kaikki järjestelmään kytketyt ajoneuvot kerran sekunnissa, joka mahdollistaa jatkuvan vertailun ajoneuvon sijainnin

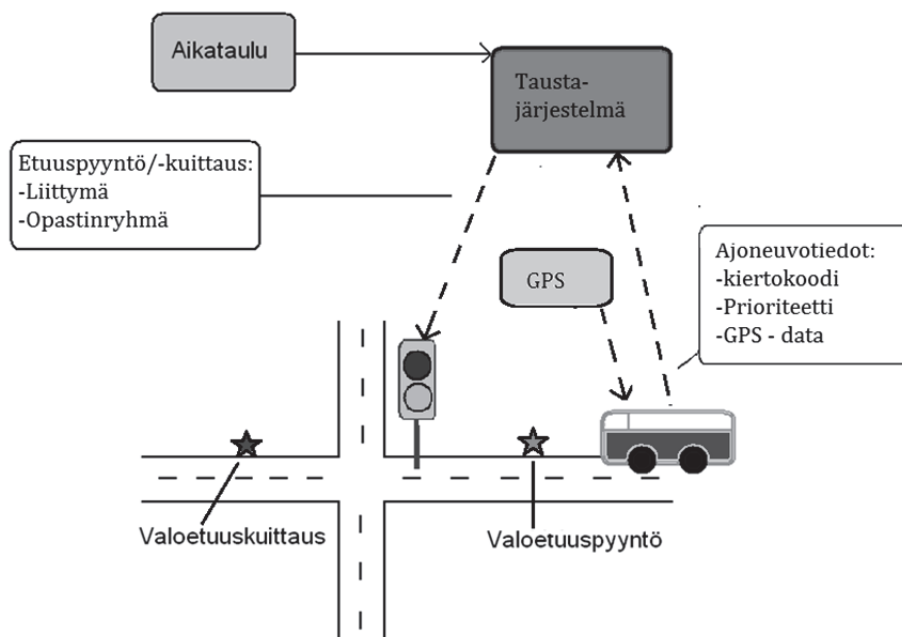
ja aikataulun välillä. Tämän vertailun avulla voidaan matkustajille tuottaa reaaliaikaista aikataulutietoa sekä internetissä Lissu -liikenneseurannan (lissu.tampere.fi), että kaduilla pysäkinäyttöjen muodossa (kuva 13).



Linja	min	min
10	10:13	10:43
13	16	27
17	10:08	10:20
20	10:08	10:20
22	5	10:10
23	09:58	10:10
25	3	21
27	1	10:23
37	10:03	10:33
39	14:00	14:40

Kuva 13. Reaaliaikaiset aikataulut pysäkinäytöillä.

Tarkan sijainnin pohjalta ajoneuvolle pystytään laskemaan todellinen sijaintiin pohjautuva aikataulu, sekä liikennevaloetuksien kohdalla määritellä liittymäkohtaisesti aikarajat etuuskien myöntämiselle sekunnin tarkkuudella, sen mukaan miten ajoneuvo on sijoittunut aikatauluunsa nähden. Pääasiassa järjestelmä on asetettu myöntämään etuudet kaikille ajoneuvoille siihen asti, että ajoneuvo on aikataulustaan niin paljon myöhässä, yleensä 5-10 minuuttia, että etuudella ei käytännössä ole enää mahdollista suuresti vaikuttaa myöhässä olemisen suhteelliseen suuruuteen.



Kuva 14. Liikennevaloetuksien toteutus Tampereella.

Keskitetty liikennevaloetuspalvelu ohjaa järjestelmän liikennevaloetuspyyntöjä ja välittää ne liikennevalokojeen yhteydessä olevalle vastaanottimelle langattoman tietoliikenneyhteyden kautta. Etuuspyyntö ja -kuittaus pisteitä hallitaan keskitetysti karttapohjaisella editorilla järjestelmän hallintasivustolla. Editorin avulla voidaan erittäin helposti määritellä paitsi pyyntö- ja kuittauspisteiden sijainnit, määritellä myös liittymäkohtaisesti linjat, joille etuudet annetaan ja linjakohtaiset etuuksien myöntämiskriteerit. Järjestelmän on mahdollista myös priorisoida linjoja mm. linjan ja myöhässä olon perusteella linjakohtaisesti.

Ajoneuvokohtaiset etuuspyynnöt lähetetään bussin saavuttaessa taustajärjestelmän editorilla luodun virtuaalisen etuuspyyntöpisteen ja vastaavasti etuuksien kuittaukset lähetetään, kun ajoneuvo saavuttaa editorilla luodun etuuksien kuittauspisteen. Etuuspyyntöjen toteutuksessa on otettu huomioon mahdolliset pysäkeille pysähtymiset pyyntöpisteiden jälkeen niin, että ajoneuvon pysähtyessä pysäkille etuuspyyntöpisteen ja kuittauspyyntöpisteen välissä, etuuspyyntö puretaan ja lähetetään uudelleen ajoneuvon lähtiessä taas liikkeelle.

Perustilanteessa kaikki etuuspyynnöt lähetetään taustajärjestelmän kautta liittymälaitteistolle, jos ennalta määritellyt kriteerit etuuden myöntämisestä täyttyvät. Perustilanteeksi on määritelty ns. välittömän etuuden tila, jossa ajoneuvoja ei priorisoida, vaan etuudet myönnetään siinä järjestyksessä kuin etuudet esiintyvät kojeen vaihekierrrossa, jonka avulla pyritään minimoimaan kierron häiriintymistä. Etuuspyynnöt käsitellään SYVARI -periaatteella.

Koordinoidun etuuden avulla etuuspyyntöjä voidaan myös estää siinä tilanteessa, jos ennalta määritellyn seuranta-alueen sisällä on suuremman prioriteetin linjan ajoneuvo, joka täyttää etuuden saamiseksi vaadittavat kriteerit, ei matalamman prioriteetin ajoneuvon etuutta lähetetä järjestelmästä eteenpäin liikennevalokojeelle.

Käytännössä koordinoiduissa etuuksissa taustajärjestelmä tarkistaa siis aina etuuspyynnön saatuaan, onko korkeamman prioriteetin raja-arvot täyttävää ajoneuvoa määritellyllä lähialueella ennen etuuden lähettämistä eteenpäin. Siinä tapauksessa että korkeamman prioriteetin ajoneuvo taas pysähtyy lähelle liikennevaloja alueen sisäpuolella pidemmäksi aikaa (esimerkiksi ajoneuvorikko) syystä tai toisesta, niin alemman prioriteetin ajoneuvojen etuuspyynnöt eivät lähde eteenpäin, ennen kuin korkeamman prioriteetin ajoneuvon raja-arvo on ylittynyt. Prioriteetiltaan korkeammiksi linjoiksi on määritelty ne, joilla on havaittu olevan tiukimmat aikataulut.

Järjestelmä tuottaa myös etuuspyynnöistä ja myönnettyistä etuuksista tarkkoja raportteja jälkianalyysia varten. Raporttien avulla voidaan selvittää useita tietoja etuuksiin liittyen etuuksien määristä ja esiintyvyyksistä aina ajoneuvojen keskimääräiseen liittymäalueella vietettyyn aikaan.

3.2.2.2 Etuuksien suunnitteluperiaate

Tampereella liikennevaloetuuudet on suunniteltu siten, että niiden avulla on pyritty vähentämään liikennevalojen aiheuttamien viivytysten hajontaa, ei minimoimaan viivytyksiä. Tämän periaatteen myötä myös muulle liikenteelle aiheutuvien haittojen tulisi pysyä mahdollisimman pienenä.

Suunnittelussa periaatteena on ollut, että pääsuunnan etuuksia myönnetään vain vihreän aiennusta ja pidennystä hyödyntämällä. Ylimääräisen vihreän käyttö (lyhyt vihreä pääsuunnalle) aiheuttaisi huomattavasti helpommin vaaratilanteita ja vaikeuttaisi yhteenkytketyissä liittymissä synkronoidun tilanteen palauttamista, jonka vuoksi sen käyttöä pyritään välttämään. Sen sijaan vasemmalle kääntyvillä, eli pääsuunnan ylittävillä suunnilla käytetään myös ylimääräistä vihreää ja sivusuunnilla sitä pyritäänkin käyttämään mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman paljon. (Tuominen, 2012)

Tuomisen (2012) mukaan etuuksien pyyntöpisteet on pyritty sijoittamaan edellisen liittymän tai pysäkin jälkeen. Tapauksissa, jossa pysäkki on juuri ennen liittymää ja sen käyttö on vähäistä, voidaan pyyntöpiste asettaa jo ennen pysäkkiä. Jos etäisyys edellisestä liittymästä tai pysäkistä on riittävän pitkä, on pyyntöpiste sijoitettu n. 20 sekunnin ajoaikaa vastaavalle etäisyydelle vallitsevan nopeusrajoituksen perusteella (esimerkiksi 60 km/h nopeusrajoitusalueella 300 metrin päähän liittymästä). Pääsääntöisesti etuuspyyntö annetaan yhdelle liittymälle kerrallaan, poikkeuksena kuitenkin niinsanotut tuplaliittymät, joiden liikennevaloja ohjataan samalla ohjauskojeella, joissa pyyntö voidaan antaa kummallekin liittymälle.

Etuuksia myönnettäessä liikennevalokoje seuraa etuuksia pyyntö- ja kuittauspisteissä etuuslaskurin mukaan. Jokaisesta pyynnöstä lisätään etuuslaskuriin yksi ajoneuvo ja vastaavasti poistetaan yksi kuittauksesta. Jos kuittauksen jälkeen ajoneuvojen määrä on 0, lopetetaan etuus. Tällä laskurilla pystytään välttämään tilanteet, jossa kaksi lähekkäin ajavaa ajoneuvoa saavat molemmat etuudet, mutta ensimmäisen ajoneuvon saavuttaessa kuittauspisteen, etuus lopetettaisiin, eikä perässä tuleva lopulta pystyisikään hyödyntämään jo kertaalleen myönnettyä etuutta.



Kuva 16. Tutkittu alue 1.

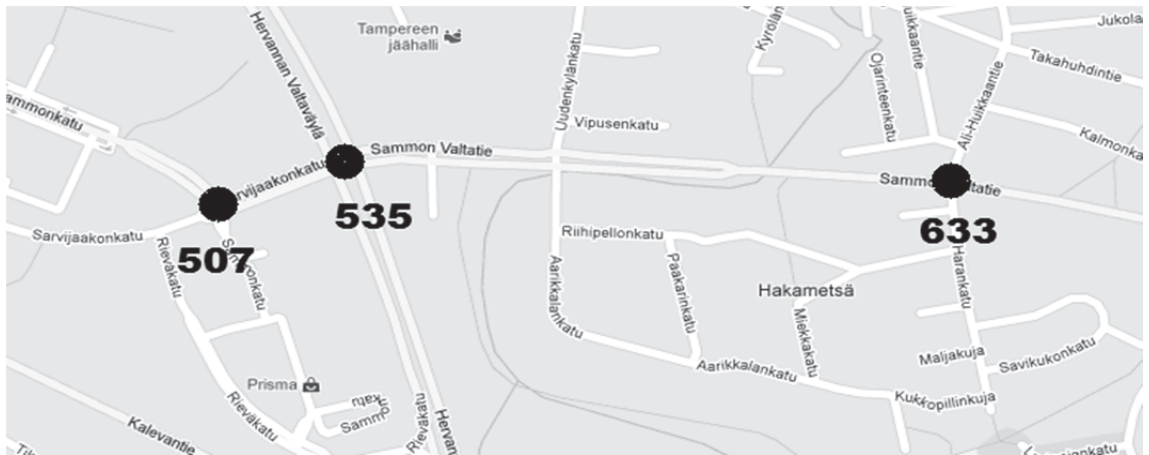
Tutkitulla alueella on runsas joukkoliikennetarjonta. Linjat 17 ja 37 kulkevat koko alueen päästä päähän yhteensä keskimäärin viisi kertaa tunnissa arkipäivänä, sekä lisäksi linjat 25 ja 27 kulkevat samaa reittiä Sammonkadun, sekä Sammon valtatie alkupään tutkitulla osuudella. Keskimäärin siis Sammon valtatie alkupäässä joukkoliikenteen linjat kulkevat kuuden minuutin välein arkipäivisin, tehden alueesta yhden vilkkaimmin liikennöidyistä osuuksista ydinkeskustan ulkopuolella Tampereella.

Alueella on lisäksi 13 pysäkkiä itään päin mentäessä, sekä 12 pysäkkiä länteen päin mentäessä, joten kaiken kaikkiaan joukkoliikenne on varsin näkyvässä roolissa alueella.



Kuva 17. Alueen 1 bussilinjat.

Alueen ajoneuvoista kerättyä tietoa analysoidaan sekä koko alueen laajuudelta, että kolmen erityyppisen liittymän osalta, pyrkien saamaan mahdollisimman kattava kuva vaikutuksista eri liittymätyypeissä. Tarkempaan tarkasteluun valikoitiin alueella liittymät 507, 633 ja 635, joiden sijainnit on esitelty kuvassa 18.



Kuva 18. Alueen 1 erikseen tarkasteltavat liittymät.

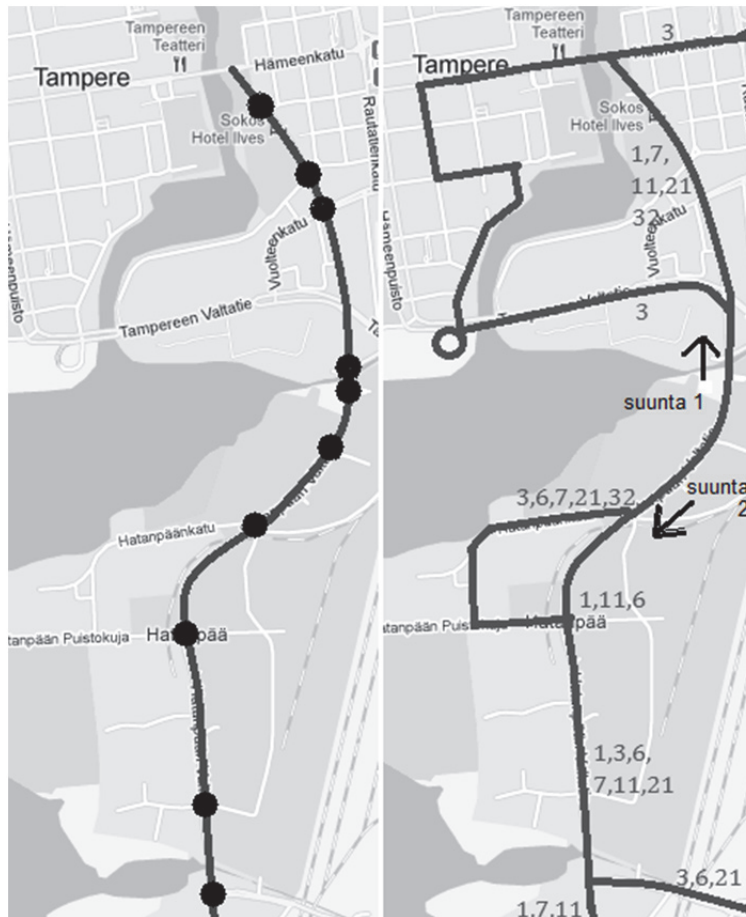
Alueella 1 kerätään lisäksi liikennetietoja kadun pinnassa olevien liikennevaloilmäisimien avulla erilliseen järjestelmään. Tätä tietoa hyödynnetään tutkimuksessa liittymän 633 (Sammon valtatie – Harankatu) osalta, josta analysoidaan keskimääräistä liikenteen läpimenoaikaa, sekä odotusaikojen muutoksia etuuksien eri raja-arvoasetuksilla. Näiden tietojen avulla muun liikenteen häiriöitä voidaan suuntaavasti arvioida.

4.1.1.2 Alue 2 – Hatanpään valtatie

Hämeenkadun ja Lahdenperänsäädun välinen osuus on pituudeltaan 2,5 kilometriä ja kattaa kaikkiaan 11 liikennevalo-ohjattua liittymää, joista kymmenessä on joukkoliikenteen etuudet mahdollistava laitteisto asennettuna tutkimuksen alkaessa lokakuussa 2011. Tutkittu alue ja alueen linjaliikenne on tarkemmin havainnollistettu kuvassa 19.

Tutkitulla alueella on runsas joukkoliikennetarjonta. Linjat 1 ja 11 kulkevat alueen päästä päähän yhteensä keskimäärin viisi kertaa tunnissa arkipäivisin, sekä lisäksi linjat 7 ja 21 kulkevat alueen päästä päähän poiketen Hatanpään valtatieltä alueen keskivaiheilla Hatanpään sairaalan kautta noin kaksi kertaa tunnissa. Lisäksi linja 3 liittyy Hatanpään valtatielle Tampereen valtatieen kohdalla, jatkaen linjojen 7 ja 21 kanssa samaa reittiä kaksi kertaa tunnissa.

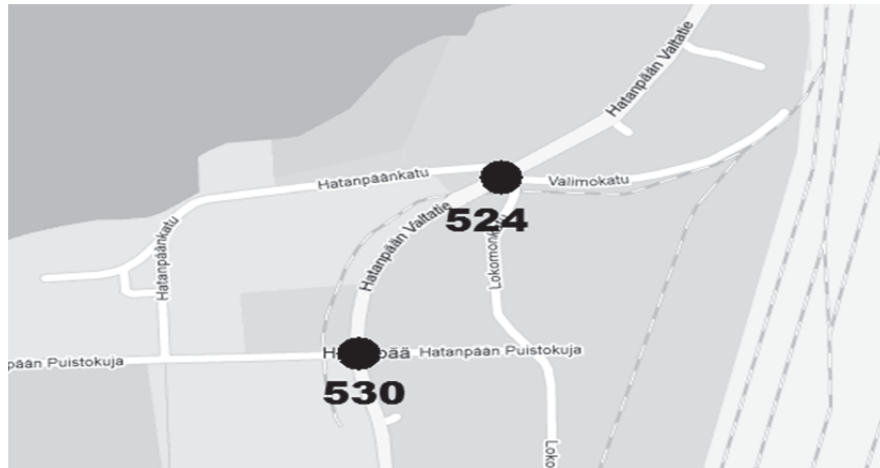
Näiden lisäksi osittain alueella liikennöivät myös linjat 6 ja 32, joista linja 6 liikennöi etelästä Hatanpään sairaalalle noin kaksi kertaa tunnissa ja linja 32 pohjoisesta Hatanpään sairaalalle noin kaksi kertaa tunnissa. Nämä eivät kuitenkaan kulje riittävän pitkää matkaa Hatanpään valtatieltä pitkin, jotta niitä olisi järkevää tutkimuksessa huomioida ja siten nämä linjat onkin jätetty tutkimukseen huomioimatta.



Kuva 19. Alueen 2 etuushajatut liittymät sekä bussilinjat.

Keskimäärin päiväsaikaan siis Hatanpään valtatiellä busseja kulkee arkisin 15 kertaa tunnissa. Alueella on kokonaisuudessaan 7 pysäkkiä pohjoiseen päin mentäessä, sekä 7 pysäkkiä etelään päin mentäessä, poislukien Hatanpäänkadun ja Hatanpään puistotien osuudet, joten myös Hatanpään valtatiellä on joukkoliikenne kaiken kaikkiaan hyvin näkyvässä roolissa.

Alueen 2 osalta tarkempaan tutkimukseen valikoitiin liittymät 524 ja 530. Nämä liittymät valikoitiin tarkasteluun linjojen 1 ja 21 eri ajolinjojen vuoksi. Molemmissa liittymissä linja 1 kulkee suoraan liittymäalueen läpi, linjan 21 reitin poiketessa näiden liittymien välissä pois Hatanpään valtatieltä. (Kuva 20)



Kuva 20. Alueen 2 erikseen tarkasteltavat liittymät.

4.1.2 Tutkimuksen toteutus

4.1.2.1 Tutkimusvaiheet

Tutkimus toteutettiin tutkimalla kolmea erilaista asetusta taustajärjestelmän liikennevalotauksien myöntämisperiaatteelle tutkimusalueiden liittymissä. Asetukset suunniteltiin tuottamaan mahdollisimman erilaisista tilanteista dataa, joita keskenään vertailemalla pystyttiin arvioimaan eri toteutusten vaikutuksia. Tutkimusdataa kerättiin yhteensä 12 viikon ajalta, toteuttamalla kaikki kolme asetusta kahdesti kahden viikon aikaväliltä.

Tiedot analysoitiin jokaisen jakson osalta erikseen vertaamalla saatuja tuloksia sekä järjestelmän raportteihin, että myös muun liikenteen mitattuihin ajoaikoihin siltä osin kun tietoa oli saatavilla.

Ensimmäisten asetuksien avulla tutkittiin tilannetta, jossa etuuksia ei myönnetä tutkituille linjoille ollenkaan. Tällä niinsanotulla ennen-tutkimuksella määritetään, mikä on alueen liikenteen normaalitilanne sekä joukkoliikenteen, että henkilöliikenteen osalta. Taustajärjestelmään asetettiin raja-arvot tutkitun alueen kaikille etuusliittymille niin, että käytännössä etuuksien toteutuminen kyseisille linjoille on lähes mahdotonta. Raja-arvoiksi määriteltiin tilanne, jossa ajoneuvot saisivat etuudet vain jos se on korkeintaan vähintään 998 sekuntia ja korkeintaan 999 sekuntia edellä aikataulua. Näin saatiin luotua tilanne, jossa etuutta ei myönnetä, mutta järjestelmä tallentaa kuitenkin ajoneuvon tiedot liittymäalueella vietetyistä ajoista. Ensimmäisiä asetuksia tutkittiin molemmilla alueilla 4.10.-18.10. ja 21.11.-6.12.2011

Toisessa vaiheessa järjestelmä asetettiin antamaan etuudet kaikille tutkittujen linjojen ajoneuvoille asettamalla etuuden myöntämisen kriteeriksi ajoneuvon olevan korkeintaan 999 sekuntia myöhässä aikataulustaan ja korkeintaan 999 sekuntia etuajassa. Tässä vaiheessa pyrittiin paitsi selvittämään, kuinka täsmällisyys parani ensimmäisestä vaiheesta, myös selvittämään, kuinka paljon etuuksien avulla voidaan aikataulua tiukentaa, kun odotusaika liikennevaloissa saadaan poistettua. Myös muun liikenteen odotusaikojen

muutos selvitettiin ja vertailtiin ensimmäisen vaiheen aikana saatuihin tietoihin. Toisia asetuksia tutkittiin molemmilla alueilla 22.10.-4.11. ja 8.-21.12.2011

Viimeisessä vaiheessa järjestelmän raja-arvot asetettiin antamaan etuus ajoneuvoille, jotka ovat aikataulustaan myöhässä, eli ajoneuvon ollessa vähintään 1 sekunnin myöhässä aikataulustaan ja korkeintaan 999 sekuntia. Viimeisen vaiheen pääasiallinen tarkoitus on selvittää, kuinka paljon etuuksien avulla voidaan parantaa täsmällisyyttä, sekä selvittää muulle liikenteelle aiheutuvat vaikutukset kahteen muuhun tilanteeseen verrattuna. Näitä asetuksia tutkittiin molemmilla alueilla 6.-19.11.2011 sekä 2.1.-15.1.2012.

Taulukossa 3 on esitetty aikavälit joilla eri asetuksia on tutkittu. Tutkimus päätettiin suorittaa kahdessa kierrossa, jotta alustavia tuloksia pystyttiin analysoimaan jo ennen kuin kaikki tieto oli saatavilla. Lisäksi tämän avulla pyrittiin hajauttamaan kerätyn datan keräysajat jokaisella asetuksella niin, että olosuhteet olisivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Näin saadaan esimerkiksi kaikilla asetuksilla kerättyä tieto sekä syyskuukaudesta, jolloin tiet ovat kuivat, sekä talvikuukaudesta, jolloin kadut ovat lumen peitossa ja ajo-olosuhteet hyvin vaihtelevat.

Aikavälejä määriteltäessä päätettiin myös jättää syyslomaviikon arkipäiviä, itsenäisyyspäivä, sekä joulun ajalta reilu viikko huomioimatta, jotta varmistetaan tutkimuksille mahdollisimman samankaltaiset ja vertailukelpoiset lähtökohdat liikenne- ja matksutajamäärien osalta. Asetuksien muutospäivät on myös jätetty tutkimuksen ulkopuolelle muutoksien tullessa voimaan päiväsaikaan, jolloin näiltä päiviltä saatava data ei olisi vertailukelpoista.

Taulukko 3. Aineistonkeruun aikataulu.

	Ei etuuksia	Etuudet kaikille	Etuudet myöhässä oleville
5.-18.10.	x		
22.10-4.11.		x	
8.-21.11.			x
23.11-7.12	x		
9.-22.12.		x	
2.1-15.1.			x

Tuloksia tarkasteltaessa data on lajiteltu alueittain (alue 1 ja 2), linjoittain (linjat 17,37,1, ja 21) sekä suunnittain (suunta 1 kohti keskustaa, suunta 2 keskustasta pois). Lisäksi joiltain osin tuloksia on pyritty tarkastelemaan yksityiskohtaisemmin, jaottelemalla data edellämäinittujen kriteerien lisäksi vielä ruuhka-aikaan. Ruuhka-aikojen osalta on tutkittu erillään arkipäiväivien osalta aamuruuhkan klo 07 ja 09 väliset lähdöt, sekä iltapäiväruuhkan klo 15 ja 17 väliset lähdöt.

4.2 Tulokset

4.2.1 Tilanne ilman etuuksia

Normaalitilanteessa, jossa bussit eivät etuuksia saaneet, ajoajat molempien alueiden läpi vaihtelivat runsaasti. Suurta vaihtelua linjakohtaisesti aiheuttivat etenkin aikaiset aamu- sekä myöhäiset iltavuorot, joiden aikana bussit saattoivat ajaa alueen läpi jopa kolme kertaa nopeammin, kuin pahimpaan ruuhka-aikaan, sekä olla huomattavasti aikatauluaan edellä. Ruuhka-aikana puolestaan myöhässä aikataulustaan oli huomattavasti suurempi osuus ajoneuvoista kuin muuna aikana. Tästä syystä saatua aineistoa on tutkittu sekä kaikkien aikojen keskiarvojen, että myös arjen ruuhka-aikojen osalta. Ruuhka-aika on tässä tutkimuksessa määritelty aikaväleille 07-09 sekä 15-17 arkipäivien osalta.

4.2.1.1 Ajoaika

Alue 1 – Sammon valtatie

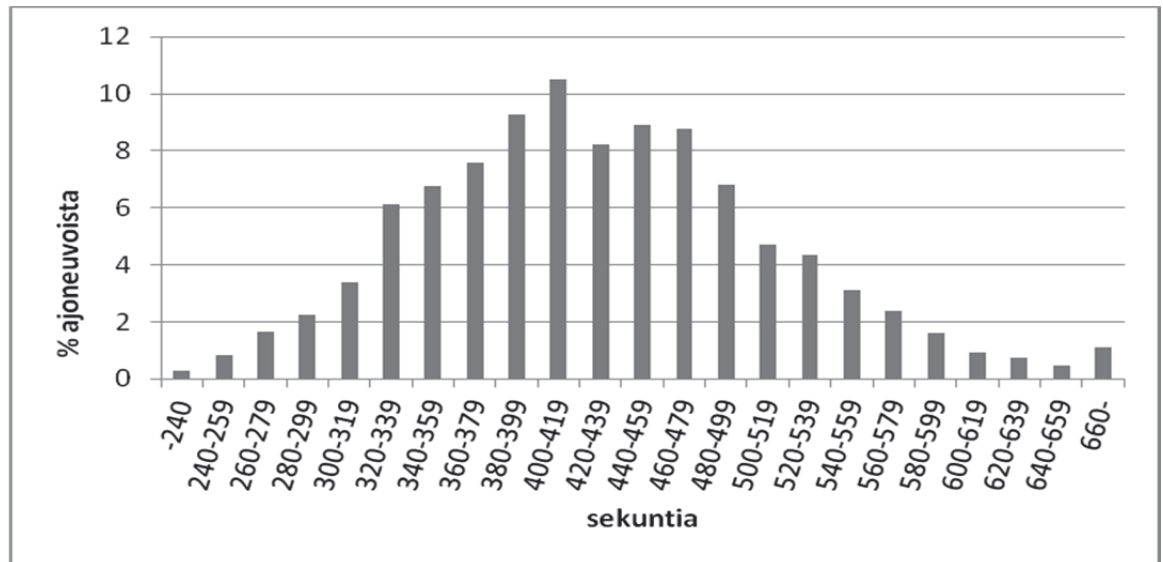
Ajoaikojen tarkastelu alueella 1 osoitti, ettei ajosuunnalla ole ilman etuuksia ajettaessa suurta merkitystä ajoaikaan. Keskimäärin ajoaika ilman etuuksia Alueella 1 on noin 430 sekuntia, kun se aikataulun mukaan olisi 510 sekuntia. Ruuhka-aikaan ajoaika oli keskimäärin 13 sekuntia pidempi, joten merkittävää vaihtelua ruuhka-ajan ja kaikkien aikojen ajoajassa ei ollut havaittavissa.

Ajoneuvotasolla tarkasteltaessa hajonta oli melko suurta, alueen 1 läpi ajettiin nopeimmillaan 205 sekunnissa ja hitaimmillaan 825 sekunnissa, kun aikataulun mukainen tavoiteaika on 365 sekuntia. Taulukossa 4 on esitetty keskimääräiset ajoajat alueen läpi ilman etuuksia.

Taulukko 4. Keskimääräinen ajoaika tutkimusalueen 1 läpi ilman etuuksia.

Linja	Ajoaika (s)	otoskoko
Linja 17 suunta 1 (keskustaan)	421,36	618
Linja 37 suunta 1 (keskustaan)	420,49	461
Linja 17 suunta 2 (keskustasta)	445,27	629
Linja 37 suunta 2 (keskustasta)	431,26	469

Kuvassa 21 on esitetty ajoneuvojen ajoaikojen hajonta eri aikaväleillä. Kuvasta huomataan, että ilman etuuksia jakauma on hyvin lähellä normaalijakaumaa pienin poikkeuksin.



Kuva 21. Ajoneuvojen ajoaika tutkimusalueella 1 ilman etuuksia.

Alue 2 – Hatanpään valtatie

Alueella 2 ajoajoissa puolestaan on havaittavissa ajosuunnan vaikutus keskimääräiseen ajoaikaan. Linjalla 1 keskimääräinen ajoaika suunnalla 1 on 17 sekuntia pidempi ja linjalla 21 jopa 97 sekuntia. Linjalla 21 kahden ajosuunnan suurta ajoaika-eroa voidaan selittää muunmuassa sillä, että suunnalla 2 linjan poiketessa Hatanpään valtatieltä Hatanpään puistokadulle ja Hatanpääkadulle, joutuu linja kääntymään vasemmalle ja näin ylittämään vastaantulevan liikenteen liikennevalo-ohjatuissa liittymissä 524, että 530. Suuntaan 1 mennessä linja pääsee puolestaan samoissa liittymissä kääntymään oikealle, jolloin odotusaika keskimäärin on huomattavasti lyhyempi kuin vasemmalle käännytessä.

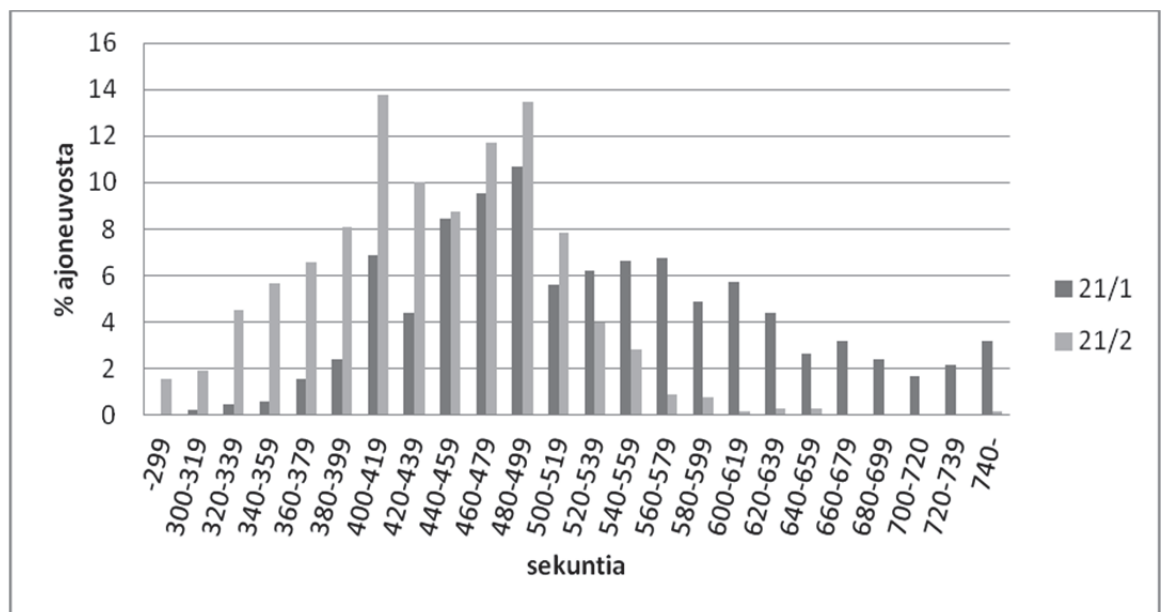
Ajoneuvokohtainen ajoaikojen vaihtelu oli hyvin suurta. Linjalla 1 alueen läpi ajettiin nopeimmillaan 171 sekunnissa ja hitaimmillaan 1007 sekunnissa, kun aikataulun mukainen tavoiteaika on 365 sekuntia. Linjalla 21 puolestaan ajoaika oli nopeimmillaan 228 ja hitaimmillaan 1172 sekuntia, kun aikataulun mukainen tavoiteaika on 500 sekuntia. Keskimääräiset ajoajat on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Keskimääräinen ajoaika tutkimusalueen 2 läpi ilman etuuksia.

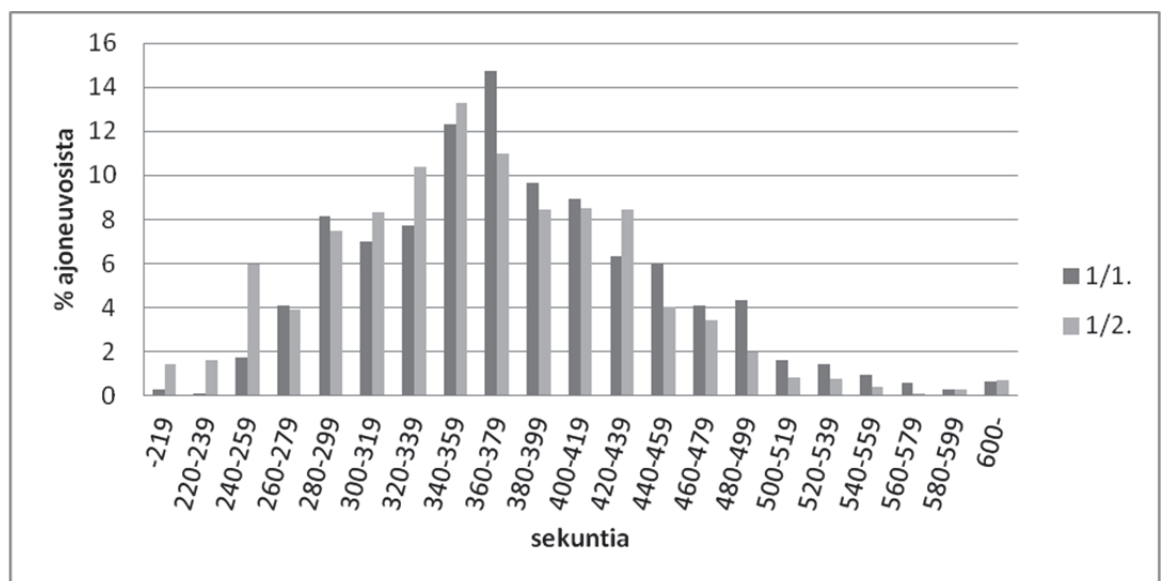
Linja	Ajoaika (s)	otoskoko
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	379,79	1211
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	534,99	846
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	363,04	1189
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	438,40	802

Tarkempi ajoaikojen jakauma on esitetty kuvissa 22 ja 23 alueen 2 osalta. Kuivissassa ajoajat on esitetty prosenteissa kaikista ajoneuvoista kyseisellä aikavälillä. Alueen 2 osalta linjojen ajoajat on esitetty erillään eriävien, ja siten keskenään vertailukelvottomien reittien vuoksi. Lisäksi linjat on aiemmin esitetyistä syistä johtuen eroteltu myös suunnan mukaan.

Tarkemman tarkastelun mukaan liittymässä 530 ajoneuvojen läpimenoaika suuntaan 1 oli 29 sekuntia ja suuntaan 2 oli 36 sekuntia. Liittymässä 524 vastaavat ajat puolestaan suuntaan 1 olivat 18 sekuntia ja suuntaan 2 olivat 32 sekuntia, jolloin keskimääräisen ajoajan eroavuudesta yli 20% saadaan selitettyä pelkästään näiden kahden liittymän avulla.



Kuva 22. Linjan 21 ajoneuvojen ajoaika tutkimusalueella 2 ilman etuuksia.



Kuva 23. Linjan 1 ajoneuvojen ajoaika tutkimusalueella 2 ilman etuuksia.

4.2.1.2 Sijainti suhteessa aikatauluun

Alue 1 – Sammon valtatie

Keskimäärin alueella 1 linjat olivat lähes poikkeuksetta myöhässä aikataulustaan aikaisia aamu- ja myöhäisiä iltavuoroja lukuunottamatta. Keskimäärin kuitenkin molempiin suuntiin mennessä aikataulua saatiin noin minuutilla kiinni alueen läpimenon aikana. Seuraavassa on myöhässäolot esitetty tarkemmin suuntakohtaisesti.

Taulukko 6. Keskimääräinen myöhässäolo sekunteina alueen 1 alku- ja loppupäässä ilman etuuk-
sia.

Linja/Ajosuunta	Alku (s)	Loppu (s)	Muutos (s)
Linja 17 suunta 1 (keskustaan)	88,52	72,56	-15,95
Linja 37 suunta 1 (keskustaan)	162,91	64,31	-98,60
Linja 17 suunta 2 (keskustasta)	104,52	51,00	-53,51
Linja 37 suunta 2 (keskustaan)	145,10	82,94	-62,16

Ajoneuvojen sijainti suhteessa aikatauluun ilman etuuksia vaihteli alueella 1 runsaasti. Keskimäärin havaittiin linjojen olevan suunnalla 1 aikataulustaan jäljessä 120 sekuntia alueen alkupäässä ja alueen loppupäässä 69 sekuntia. Keskimäärin siis alueella saatiin aikataulua kurottua kiinni ilman etuuksia jopa 51 sekuntia. Ruuhka-aikana puolestaan ajoneuvot olivat alueen alkupäässä myöhässä aikataulustaan keskimäärin jopa 188 sekuntia myöhässä ja alueen loppupäässä 143 sekuntia, jolloin aikataulua saatiin kurottua kiinni keskimäärin 45 sekuntia.

Suunnassa 2 alueen alkupäässä ajoneuvot olivat keskimäärin myöhässä aikataulustaan 128 sekuntia ja alueen läpi ajettuaan 69 sekuntia, jolloin myöhässäoloa saatiin kurottua kiinni keskimäärin 59 sekuntia. Ruuhka-aikaan ajoneuvot olivat myöhässä alueen alkupäässä 199 sekuntia ja lopussa 142 sekuntia, jolloin aikatauluja saatiin kurottua kiinni myöskin keskimäärin 57 sekuntia.

Alue 2 – Hatanpään valtatie

Kuten alueella 1, myös alueella 2 linjat olivat keskimäärin aikataulustaan jäljessä alueelle tultaessa, mutta saivat aikataulujaan kiinni alueen läpi ajettaessa. Taulukossa 7 on esitetty aikatauluun suhteutetut myöhässäolot linja- ja suuntakohtaisesti.

Taulukko 7. Keskimääräinen myöhässäolo alueella 2 ilman etuuksia.

	Alku (s)	Loppu (s)	Muutos(s)
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	96,61	-27,7	-124,31
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	144,76	31,10	-113,66
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	174,92	165,97	-8,95
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	157,68	104,80	-52,85

Ruuhka-aikaan ajoneuvot olivat huomattavasti enemmän aikataulustaan myöhässä ja aikataulujen kiinni ottaminen jäi merkittävästi vähäisemmäksi kuin kaikkien aikojen keskiarvo.

Taulukko 8. Keskimääräinen myöhässäolo ruuhka-aikana alueella 2 ilman etuuksia.

	Alku (s)	Loppu (s)	Muutos(s)
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	130,48	61,08	-69,40
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	238,35	129,65	-108,70
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	295,89	335,40	39,51
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	268,21	257,66	-10,55

Suunnassa 1 ajoneuvojen myöhässäolo vaihteli suuresti sekä alku-, että loppupäässä. Keskimäärin ajoneuvot olivat alkupäässä aikataulustaan myöhässä 116 sekuntia ja loppupäässä edellä aikatauluaan 4 sekuntia. Keskimäärin ajoneuvot siis ottivat aikataulua kiinni 120 sekuntia alueen läpiajon aikana. Ruuhka-aikaan ajoneuvot olivat alkupäässä 168 sekuntia myöhässä aikataulustaan ja loppupäässä 88 sekuntia, jolloin kiinniotto oli selvästi kaikkien aikojen keskiarvoa pienemmäksi, 80 sekuntiin.

Suunnassa 2 ajoneuvojen myöhässäolo aikataulustaan oli huomattavasti suurempaa suuntaan 1 verrattuna. Lisäksi huomionarviosta linjan 1 osalta on, että toisin kuin muilla ajokierroilla, ei se saa aikatauluaan lähtökohtaisesti juuri ollenkaan kirittyä kiinni ja ruuhka-aikaan myöhästyi entisestään aikataulustaan. Ajoneuvot olivat keskimäärin 167 sekuntia myöhässä aikataulustaan alueelle tultaessa ja 140 sekuntia myöhässä alueelta poistuessaan. Aikataulua otettiin alueella kiinni keskimäärin siis 27 sekuntia, joka on merkittävästi vähemmän kuin suuntaan 1. Ruuhka-aikaan ajoneuvot olivat alkupäässä keskimäärin 284 sekuntia myöhässä aikataulustaan ja loppupäässä 304 sekuntia myöhässä, linjan 21 ajoneuvojen ottaessa aikatauluaan kiinni ja linjan 1 ajoneuvojen myöhästyessään entisestään.

4.2.2 Etuudet kaikille ajoneuvoille

Kaikille ajoneuvoille etuudet myönnettäessä ajoajat nopeutuvat lähes poikkeuksetta kaikilla ajoneuvoilla. Vaikka ajoaikojen nopeutuminen on positiivinen asia, on vaikutuksissa huomioitava niiden ajoneuvojen määrän lisääntyminen, jotka ovat merkittävästi aikatauluun edellä ajoajan lyhentymisen seurauksena. Matkustajien kannalta etuajassa olevalla ajoneuvolla on helposti myös hyvin negatiivinen vaikutus koettuun palvelutasoon, jos tämän vuoksi myöhästyy linjalta. Uusia aikatauluja suunniteltaessa tieto maksimihyödyistä on kuitenkin hyödyllinen, jos aikatauluja halutaan tiukentaa.

Kun tarkastellaan kaikille etuuksien myöntämisen vaikutuksia, on huomioitava, että tarkastelulla pyritään selvittämään järjestelmän maksimaaliset hyödyt ajoajan nopeutuksessa. Kuitenkaan Tampereella tämä ei ole se lähtökohta, jonka mukaan liikennevaloituksia on lähdetty suunnittelemaan. Tästä johtuen tarkastelu tapahtuu lähinnä eri asetusten vertailun kannalta ja puhtaasta mielenkiinnosta järjestelmän maksimihyötyjä kohtaan.

4.2.2.1 Ajoaika

Alue 1 – Sammon valtatie

Kaikille ajoneuvoille etuudet myönnettäessä vaikutukset alueen läpimenoaikoihin olivat huomattavat. Alueella 1 ajoajat liittymäkohtaisesti nopeutuivat parhaimmillaan jopa 36% ja keskimääräinen ajoneuvojen läpimenoajan nopeutuminen oli 15% tarkastellessa kolmen liittymän, 507, 535 ja 633 läpimenoaikoja.

Taulukko 9. Liittymien läpimenoaikojen muutos alueella 1 kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

Liittymä/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Kaikille etuudet (s)	Muutos (%)
535/1 (keskustaan)	35,39	28,42	-19,69
535/2 (keskustasta)	38,19	31,74	-16,89
633/1 (keskustaan)	24,45	21,29	-12,92
633/2 (keskustasta)	25,90	23,01	-11,16
507/1 (keskustaan)	15,56	16,29	4,69
507/2 (keskustasta)	43,64	31,45	-27,93

Liittymän 507 kohdalla huomioitavaa on, että suuntaan 2 mennessä ajoajan muutos on merkittävä ajolinjan kääntyessä vasemmalle liittymässä. Tässä tapauksessa odotusajat ovat merkittävästi suuremmat lähtökohtaisesti, kuin suuntaan 1 mennessä, jolloin liittymässä käännytään oikealle, jonne suurimman osan ajasta pääsee kulkemaan pysähtymättä. Tämän vuoksi myöskään etuuksilla ei voi olla merkittävää vaikutusta kyseisen suunnan osalta. Liittymässä 507 suuntaan 1 ajettaessa tapahtuvaa ajoajan kasvamista voidaan selittää lisäksi liittymän vaihejaon, ja sitä kautta suunnan 1 vihreän aallon häiriintymisellä. Kun suuntaan 2 annetaan etuus, joutuvat suunnasta 1 tulevat ajoneuvot

odottamaa vihreää vaihetta pidempään muun muassa jalankulkijoille myönnettyjen vihreiden aiheuttamien reunaehtojen vuoksi.

Kun verrataan linjojen 17 ja 37 keskimääräisiä ajoaikoja koko tutkitun alueen läpi, on selkeästi havaittavissa ajoaikojen lyhentymisen verrattuna lähtötilanteeseen. Keskimääräinen ajoaika väheni kaikenkaikkiaan hieman yli 11% tai 48 sekuntia. Ilman etuuksia kaikkien ajoneuvojen läpimenoaika oli 431 sekuntia ja kaikille myönnettyjen etuuksien myötä ajoaika tippui 383 sekuntiin. Läpimenoajat on esitetty linja- ja suuntakohtaisesti Taulukossa 10.

Taulukko 10. Ajoaikojen keskimääräinen muutos alueella 1 kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

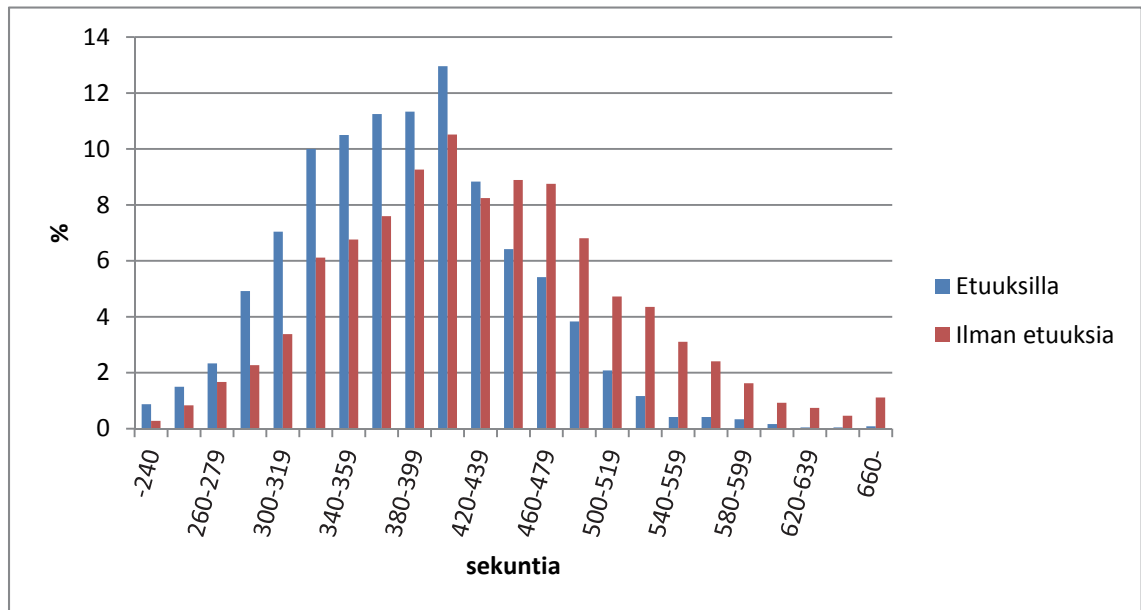
Linja/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Kaikille etuudet (s)	Muutos (%)
Linja 17 suunta 1 (keskustaan)	421,36	376,80	-11,83
Linja 37 suunta 1 (keskustaan)	420,49	379,17	-10,90
Linja 17 suunta 2 (keskustasta)	445,27	397,91	-11,90
Linja 37 suunta 2 (keskustasta)	431,26	384,39	-12,19

Taulukko 11. Ajoaikojen keskimääräinen muutos alueella 1 kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

Linja/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Kaikille etuudet (s)	Muutos (%)
Linja 17 suunta 1 (keskustaan)	460,75	415,06	-11,01
Linja 37 suunta 1 (keskustaan)	430,23	396,05	-8,63
Linja 17 suunta 2 (keskustasta)	456,44	418,51	-9,06
Linja 37 suunta 2 (keskustasta)	429,82	388,04	-10,76

Ruuhka-ajan ajoaikojen osalta muutokset olivat hyvin lähellä koko vuorokauden keskiarvoja. Keskimääräinen ajoaika väheni kaikilla ajoneuvoilla 12%, kun taas ruuhka-aikana muutos oli 10%

Etuuksien avulla ajoneuvojen läpimenoajan vaihtelevuus väheni merkittävästi, pisimmän ajoajan ollessa 747 sekuntia ja lyhyimmän 199 (vrt. ilman etuuksia 1007/171s), lisäksi jopa 97% ajoneuvoista kulki alueen läpi tavoiteaikaan (510 s) tai sitä nopeampaa etuuksien avulla, kun ilman etuuksia vastaava luku oli 84%. Kuvassa 24 on esitetty ajoajan jakauma tutkimusalueella kaikkien linjojen osalta sekä silloin kun ajoneuvoille ei etuuksia myönnetä, että silloin kun kaikille ne myönnetään. Kuvassa ajoajat on ryhmitelty 20 sekunnin aikavälein ja tulokset esitetty prosentteina kaikista ajoneuvoista.



Kuva 24. Ajoajat alueella 1 ilman etuuksia, sekä kaikille myönnettyillä etuuksilla.

Alue 2 – Hatanpään valtatie

Alueella 2 saatiin vastaavia tuloksia kuin alueella 1 ajoaikojen muuttumisen suhteen. Ajoaikojen muutokset linjakohtaisesti olivat hieman pienemmät kuin linjalla 2, ajoaikojen vähentyessä keskimäärin 7%

Taulukko 12. Liittymäkohtaiset muutokset ajoajoissa alueella 2 kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

Liittymä/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Kaikille etuudet (s)	Muutos (%)
524 l->p	32,31	20,24	-37,36
524e->p	20,72	17,87	-13,77
524 p->e	17,13	16,64	-2,85
524 p->l	18,17	17,27	-4,94
530 e->p	9,02	12,40	37,40
530 p->e	22,47	18,54	-17,50
530 l->e	28,79	17,88	-37,90
530 e->l	36,25	19,63	-45,86

Liittymäkohtaisesti tarkasteltuna ajoajat pienenevät vaihtelevasti. Suurimmat muutokset tapauksissa, joissa ajoneuvo liittyi tai kääntyi pois Hatanpään valtatieltä, kun taas Hatanpään valtatieä suoraan ajaessa ajoajoissa ei yhtä suuria vaikutuksia tapahtunut. Keskimäärin näiden kahden liittymän osalta kaikille ajoneuvoille etuus myönnettäessä läpimenoaika väheni 17%. Merkittävää on myös liittymän 530 osalta, että etuuksien myötä läpimenoaika kasvoi jopa 37%.

Tätä kasvun suurta arvoa osaltaan kuitenkin selittää ilman etuuksia oleva erittäin nopea läpimenoaika, jossa valtaosa ajoneuvoista on päässyt ajamaan pysähtymättä ja pienikin muutos voi prosentuaalisesti merkitä suurta muutosta. Ajoajan kasvua voidaan myös selittää osittain samankaltaisesti kuin liittymässä 507 todettu, jossa toisen suunnan etuuden aiheuttama kierron muutos aiheuttaa mahdollisesti toisesta suunnasta tulevan ajoneuvon putoamisen vihreästä aallosta.

Koko aluetta tarkasteltaessa etuuksien myötä ajoajat lyhenivät keskimäärin 7% tai 35 sekuntia ja ruuhka-aikana 9% tai 46 sekuntia. Ilman etuuksia ajoneuvojen keskimääräinen ajoaika oli siis 427 sekuntia ja etuuksien kanssa 390 sekuntia.

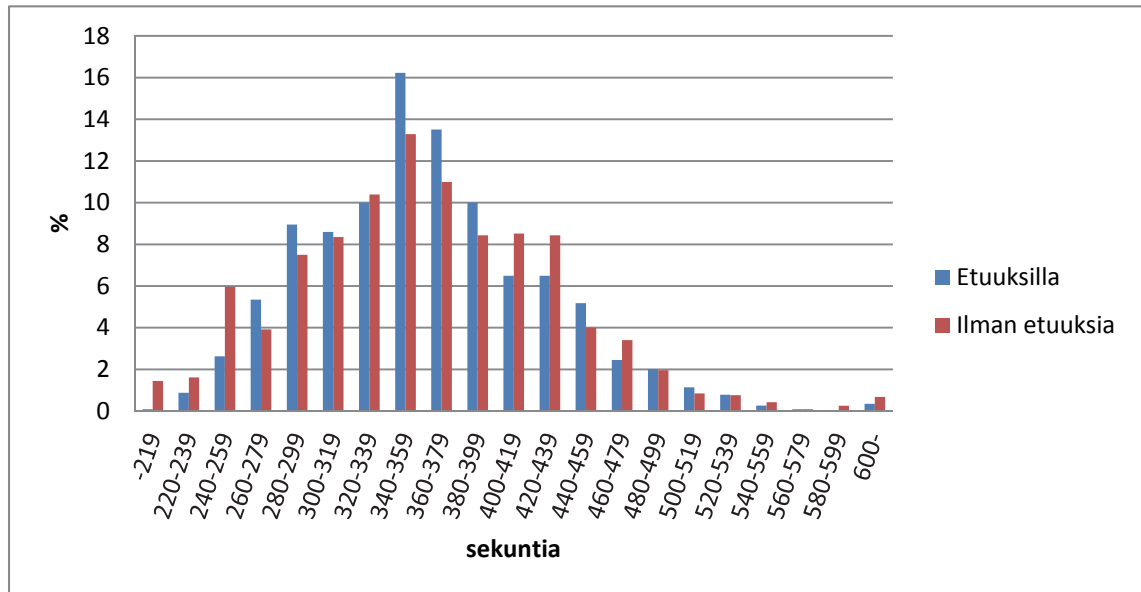
Taulukko 13. Alueen 2 ajoaikojen muutos kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

Linja/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Kaikille etuudet (s)	Muutos (%)
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	379,79	362,22	-4,63
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	534,99	479,84	-10,31
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	363,04	345,06	-4,95
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	438,40	422,84	-3,55

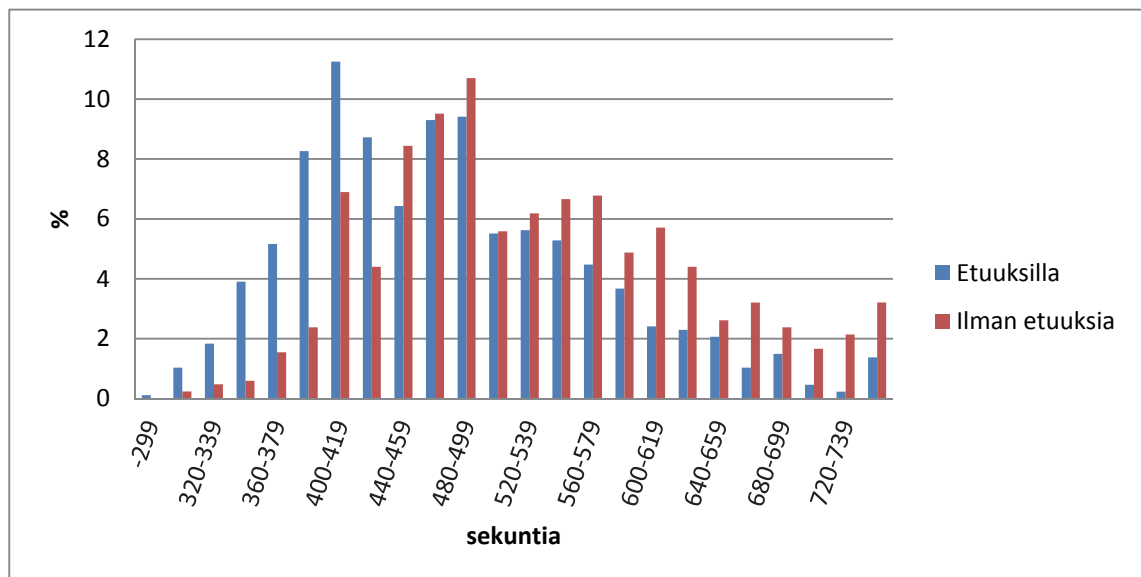
Taulukko 14. Alueen 2 ajoaikojen muutos ruuhka-aikana kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

Linja/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Kaikille etuudet (s)	Muutos (%)
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	441,69	410,47	-7,07
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	622,97	564,65	-9,36
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	424,95	394,57	-7,15
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	481,32	469,32	-2,49

Myös alueella 2 ajoneuvojen läpimenoajan vaihtelevuus pieneni hiukan. Ilman etuuksia ajoajat vaihtelivat 171 ja 1172 sekunnin välillä linjalla 1 ja 288 ja 1007 välillä linjalla 21, kun taas etuuksien myötä tämä vaihteluväli oli 159-683 sekuntia linjalla 1 ja linjalla 21 270-905 sekuntia. Lisäksi etuuksien myötä 77% kaikista ajoneuvoista ajoi tutkitun alueen läpi tavoiteaikaa (500s) nopeammin linjalla 21 ja linjalla 1 vastaava luku oli 59% (tavoiteaika 365s). Kuva 25. havainnollistaa ajoaikojen hajonnan muutoksen etuuksien myötä linjan 1 suunnan 1 osalta ja kuva 26 linjan 21 suunnan 1 osalta.



Kuva 25. Linjan 1 ajoaikoajat ilman etuuksia, sekä kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.



Kuva 26. Linjan 21 ajoaikoajat ilman etuuksia, sekä kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

Taulukoista havaitaan selkeästi, kuinka molempien linjojen osalta painopiste on siirtynyt huomattavasti vasemmalle, tarkoittaen ajoneuvojen ajoajan nopeutumista.

4.2.2.2 Sijainti suhteessa aikatauluun

Etuudet kaikille ajoneuvoille annettaessa ajoneuvon sijainnilla suhteessa aikatauluun ei ole tutkimuksen kannalta tärkein tieto. Lähtökohtaisesti runsaasti myöhässä olevat ajoneuvot pystyvät tällä menetelmällä saamaan kyllä aikatauluaan kiinni, mutta myös aikataulussaan olevat ajoneuvot ovat pian aikatauluja runsaasti edellä, mikä ei ole tarkoituksen mukaista. Tämän vuoksi kaikille myönnettyjen etuuksien vaikutuksia ajoneuvon sijaintiin suhteessa aikatauluun ei ole mielekästä tutkia tarkasti ja tulokset käsitellään vain pinnallisesti.

Alue 1 – Sammon valtatie

Ajoneuvojen ollessa lähtökohtaisesti myöhässä aikataulustaan tutkimusalueelle saapues-
saan, on selvää, että aikataulua nopeampien läpiajoaikojen myötä myös aikataulua saa-
daan tutkimusalueen sisällä entistä enemmän otettua kiinni. Alla olevissa taulukoissa on
esitetty ajoneuvojen myöhässäolo aikataulustaan linja- ja suuntakohtaisesti sekä alueen
alku- että loppupäässä, kaikkien ajoneuvojen, että ruuhka-ajan ajoneuvojen osalta.

Taulukko 15. Ajoneuvojen sijainti suhteessa aikatauluun etuuksien myötä.

	Alku (s)		Loppu (s)		Kiinniotto (s)	
Linja	Ilman etuuksia	Etuuksilla	Ilman etuuksia	Etuuksilla	Ilman etuuksia	Etuuksilla
17/1 (keskustaan)	88,52	75,13	72,56	16,35	15,96	58,78
37/1 (keskustaan)	162,91	139,22	64,31	12,86	98,6	126,36
17/2 (keskustas- ta)	104,52	66,09	51	-23,4	53,52	89,49
37/2 (keskustas- ta)	145,1	121,47	82,94	2,68	62,16	118,79

Taulukko 16. Ruuhka-ajan ajoneuvojen keskimääräinen sijainti suhteessa aikatauluun etuuksien myötä.

	Alku (s)		Loppu (s)		Kiinniotto (s)	
Linja	Ilman etuuksia	Etuuksilla	Ilman etuuksia	Etuuksilla	Ilman etuuksia	Etuuksilla
17/1 (keskustaan)	151,85	133,7	154,45	86,75	-2,6	46,95
37/1 (keskustaan)	209,85	201,63	131,83	81,93	78,02	119,7
17/2 (keskustasta)	205,07	177,33	168,48	95,45	36,59	81,88
37/2 (keskustasta)	194,88	165,01	123,5	46,26	71,38	118,75

Näistä taulukoista voidaan havaita, että kun tarkastellaan sijaintia suhteessa aikatauluun
kaikkien ajoneuvojen osalta, olivat ajoneuvot keskimäärin alueelle tullessaan selvästi yli
minuutin (85s.) myöhässä. Etuuksien avulla kuitenkin alueen loppupäässä ajoneuvot
olivat keskimäärin muutaman sekunnin sisällä aikatauluun.

Keskimäärin ajoneuvot siis ottivat aikatauluun kiinni 83 sekuntia, kun ilman etuuksia
vastaava luku oli 73 sekuntia. Kuitenkin ruuhka-aikoina ajoneuvot olivat lähtökohtaises-
ti huomattavasti enemmän myöhässä alueelle tullessaan kuin koko otannan ajoneuvot.
Tämän vuoksi ruuhka-aikana aikataulua edelle ei päästy, mutta ajoneuvot olivat keski-

määrin puolittaneet myöhässäoloaikansa alueen alkupäähän verrattuna. Ilman etuuksia aikataulua puolestaan otettiin kiinni noin 25% alkuperäisestä myöhässäolosta.

Siinä missä ilman etuuksia ajoneuvot vähensivät alueella keskimäärin 59 sekuntia myöhässäoloa, saatiin etuuksilla aikataulua kiinni keskimäärin 87 sekuntia. Ruuhka-aikana vastaavat arvot olivat ilman etuuksia 35 sekuntia ja etuuksilla 108 sekuntia.

Alue 2 – Hatanpään valtatie

Alueella 2 vaikutukset olivat hyvin samanlaiset kuin alueella 1. Alueelle tulevat ajoneuvot ovat poikkeuksetta myöhässä aikataulustaan, mutta etuuksien avulla enää vain 25 sekuntia myöhässä aikataulustaan alueelle tultaessa. Siinä missä ilman etuuksia ajoneuvot vähensivät alueella keskimäärin 73 sekuntia myöhässäoloa, saatiin etuuksilla aikataulua kiinni keskimäärin 110 sekuntia. Ruuhka-aikana vastaavat arvot olivat ilman etuuksia 30 sekuntia ja etuuksilla 78 sekuntia.

Taulukko 17. Ajoneuvojen sijainti suhteessa aikatauluun ilman etuuksia ja kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

	Alku (s)		Loppu (s)		Kiinniotto (s)	
	Ilman etuuksia	Etuuksilla	Ilman etuuksia	Etuuksilla	Ilman etuuksia	Etuuksilla
Linja/ Ajosuunta						
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	96,61	88,07	-27,70	-60,03	124,30	148,1
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	144,76	132,1	31,1	-49,34	113,66	181,44
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	174,92	162,67	165,97	128,87	8,95	33,8
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	157,68	142,49	104,83	61,95	52,85	80,54

Taulukko 18. Ruuhka-ajan ajoneuvojen keskimääräinen sijainti suhteessa aikatauluun ilman etuuksia ja kaikille myönnettyjen etuuksien myötä.

	Alku (s)		Loppu (s)		Kiinniotto (s)	
	Ilman etuuksia	Etuuksilla	Ilman etuuksia	Etuuksilla	Ilman etuuksia	Etuuksilla
Linja/Ajosuunta						
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	128,42	146,13	57,18	43,04	71,25	103,09
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	238,22	278,68	129,93	108,92	108,29	169,76
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	296,20	311,59	332,84	337,78	-36,63	-26,18
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	264,15	284,17	256,98	191,28	7,17	92,88

Ruuhka-aikaan etuuksien avulla alueella saatiin hyvin samantapaisia tuloksia kuin kaikkien ajoneuvojen osalta. Merkittävimmät hyödyt saatiin linjalle 21, kun taas linjalla 1, etenkin suuntaan 2, hyödyt jäivät hyvin pieniksi. Tätä voidaan osittain selittää sillä, että suunnan 1 etuudet hyödyntävät etuuksia enemmän, ja näin vievät osan suunnan 2 etuuksien hyödyistä.

4.2.3 Etuudet myöhässä oleville ajoneuvoille

4.2.3.1 Ajoaika

Asetuksilla, joissa etuudet myönnetään vain aikataululstaan myöhässä oleville ajoneuvoille, pyritään pääasiassa parantamaan linjojen täsmällisyyttä ja ajoneuvojen ajoaikojen nopeuttaminen on vasta toissijainen tavoite. Näillä asetuksilla etuna tilanteeseen, jossa kaikki ajoneuvot saavat etuuden on, että ajoneuvojen aikataulullista hajontaa saadaan pienennettyä. Tämä mahdollistuu, kun voidaan ehkäistä aikatauluaan edellä olevan ajoneuvon matka-nopeuden lisääntymistä entisestään, samaan aikaan kun myöhässä olevat ajoneuvot saavat aikatauluaan kiinni.

Tutkittaessa tilannetta, jossa etuudet myönnetään vain myöhässä oleville ajoneuvoille, merkitykset olivat huomattavat. Ajoneuvojen ajoaika alueen päästä päähän väheni merkittävästi verrattuna ajo-aikoihin ilman etuuksia. Koska tutkimusalueille tultaessa suuri osa ajoneuvoista oli myöhässä, matka-ajan nopeutuminen oli edelleen merkittävä, vaikkakin pienempi kuin kaikille ajoneuvoille etuudet myönnettäessä. Keskimääräinen ajoajan nopeutus oli 7% kun kaikille etuudet myönnettäessä vastaava luku oli 11%.

Alue 1 – Sammon valtatie

Alueen 1 tarkastelluissa liittymissä ajoaika lyheni lähes samassa suhteessa kuin kaikille ajoneuvoille etuudet myönnettäessä. Keskimäärin liittymäkohtaisesti ajoaika lyheni 16%. Kuten kaikille ajoneuvoillekin etuudet myönnettäessä liittymässä 507, jossa ajosuunta kääntyi, oli sekä suurin hyöty (-25%) vasemmalle käännätyssä ja pienin hyöty (+4%) oikealle käännätyssä.

Taulukko 19. Liittymien läpimenoaikojen muutos alueella 1 myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Liittymä/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Myöhässä oleville etuudet (s)	Muutos (%)
535/1 (keskustaan)	35,39	29,92	-15,45
535/2 (keskustasta)	38,19	32,77	-14,18
633/1 (keskustaan)	24,45	21,70	-11,23
633/2 (keskustasta)	25,9	23,58	-8,93
507/1(keskustaan)	15,56	16,15	3,82
507/2 (keskustasta)	43,64	32,64	-25,18

Koko alueen läpimenoajoissa tapahtui myös merkittäviä muutoksia myöhässä oleville ajoneuvoille etuuksia myönnettäessä. Keskimääräinen ajoajan lyheneminen oli 7% tai 29 sekuntia.

Taulukko 20. Ajoaikojen keskimääräinen muutos alueella 1 myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

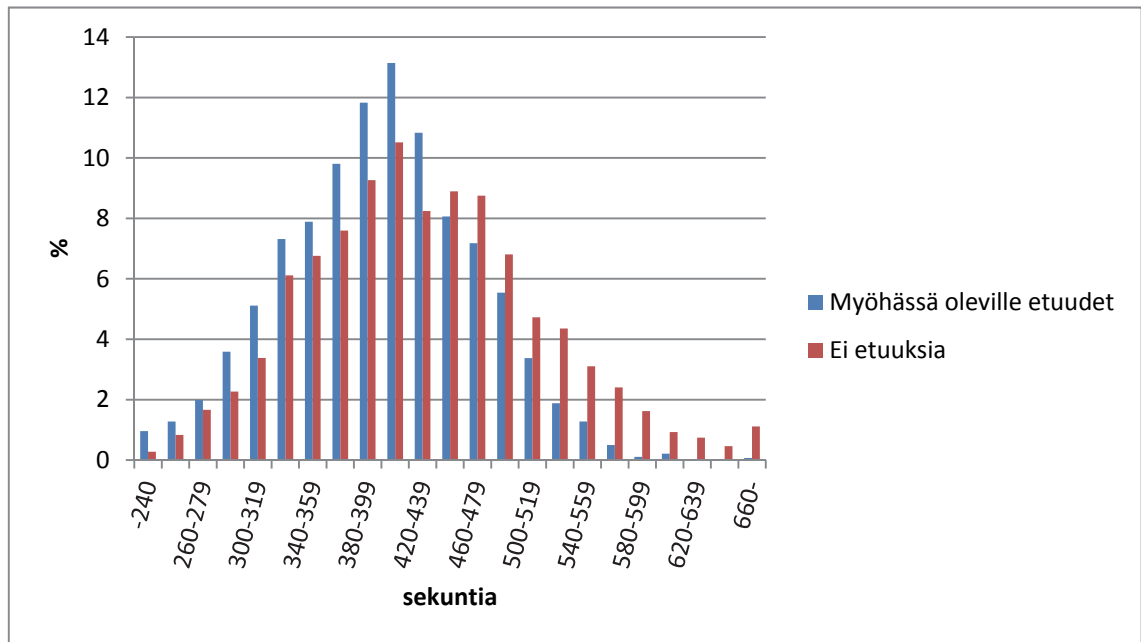
Linja/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Myöhässä oleville etuudet (s)	Muutos (%)
Linja 17 suunta 1 (keskustaan)	421,36	392,51	-6,85
Linja 37 suunta 1 (keskustaan)	420,49	394,39	-6,21
Linja 17 suunta 2 (keskustasta)	445,27	408,86	-8,18
Linja 37 suunta 2 (keskustasta)	431,26	401,91	-6,81

Ruuhka-aikaan saatiin lähes vastaavat tulokset kuin kaikkien aikojen keskiarvona, ajoajat nopeutuivat 7% tai 30 sekuntia.

Taulukko 21. Ajoaikojen keskimääräinen muutos alueella 1 myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Linja/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Myöhässä oleville etuudet (s)	Muutos (%)
Linja 17 suunta 1 (keskustaan)	460,75	425,93	-7,56
Linja 37 suunta 1 (keskustaan)	430,23	406,22	-5,58
Linja 17 suunta 2 (keskustasta)	456,44	421,80	-7,59
Linja 37 suunta 2 (keskustasta)	429,82	407,67	-5,15

Ajoneuvojen ajallinen hajonta pieneni selkeästi etuuksien avulla, jolla 82% ajoneuvoista läpäisi alueen 320 ja 500 sekunnin välillä, kun ilman etuuksia vastaava määrä oli 75% kaikista ajoneuvoista. Ajoneuvojen aikataululliset hajonnat ilman etuuksia ja myöhässä-oleville myönnettyjen etuuksien avulla on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Ajoajat alueella 1 ilman etuuksia ja myöhässä oleville annettujen etuuksien myötä.

Alue 2 – Hatanpään valtatie

Alueella 2 liittymäkohtaisia läpimenoaikoja tarkasteltaessa eroavaisuudet olivat suuria. Suurin hyöty saatiin liittymässä 530 ajettaessa etelästä länteen, jolloin keskimääräinen läpimenoaika oli 35% pienempi kuin ilman etuuksia. Toisaalta taas liittymässä 530 etelästä pohjoiseen ajettaessa ajoajassa ei ollut muutosta. Keskimäärin kääntyvillä suunnilla etuuksien myötä ajoaika väheni 24% kun taas suoraan ajetuilla suunnilla ajoaika väheni 5%. Keskimäärin ajoajat liittymissä lyhenivät 14%.

Taulukko 22. Liittymien läpimenoaikojen muutos alueella 2 myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Liittymä/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Myöhässä oleville etuudet (s)	Muutos (%)
524 l->p	32,31	23,35	-27,72
524e->p	20,72	20,04	-3,27
524 p->e	17,13	16,45	-3,93
524 p->l	18,17	17,46	-3,88
530 e->p	9,10	9,15	0,55
530 p->e	22,47	19,78	-11,94
530 l->e	28,79	22,89	-20,47
530 e->l	36,25	23,55	-35,03

Koko alueen läpiajon osalta ajoajat lyhenivät keskimäärin 4% tai 14 sekuntia. Hyödyt olivat hieman suuremmat linjalla 21 kuin linjalla 1, joka on kuten kaikille etuudet myönnettäessä, selitettävissä linjan 21 pääajosuunnasta poikkeavan ajolinjan osalta liittymissä 524 ja 530.

**Taulukko 23. Läpimenoaikojen muutos alueella 2 myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuk-
sien myötä.**

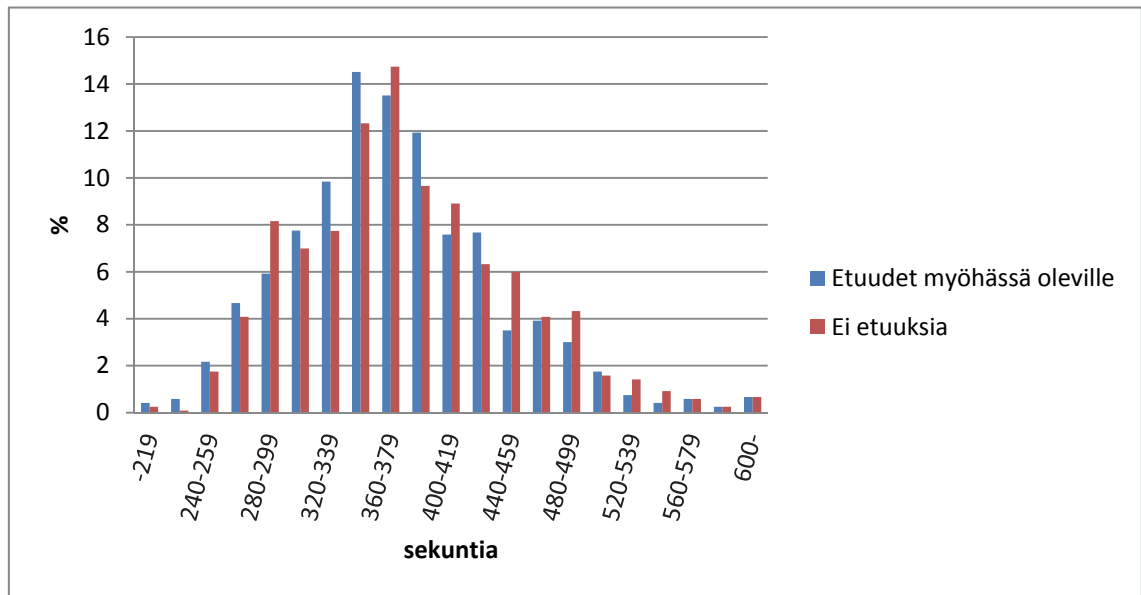
Linja/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Myöhässä oleville etuudet (s)	Muutos (%)
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	379,79	373,63	-1,62
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	534,99	489,66	-9,26
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	363,04	349,02	-4,01
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	438,4	432,41	-1,39

**Taulukko 24. Läpimenoaikojen muutos alueella 2 myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuk-
sien myötä ruuhka-aikana.**

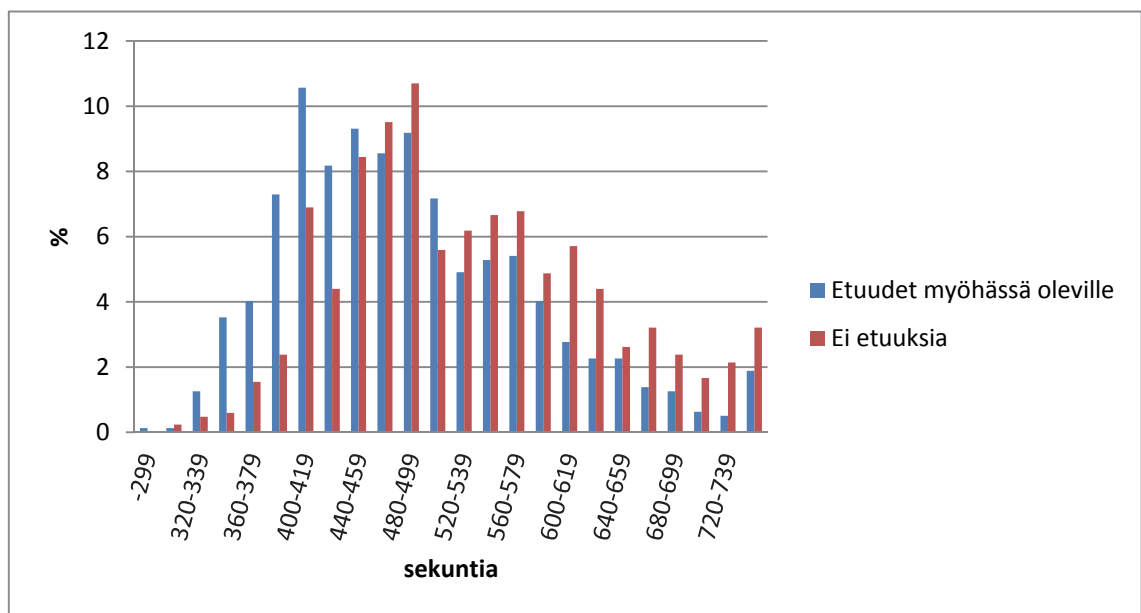
Linja/Ajosuunta	Ei etuuksia (s)	Myöhässä oleville etuudet (s)	Muutos (%)
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	441,69	424,90	-3,80
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	622,97	571,44	-8,27
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	424,95	398,75	-6,16
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	481,32	469,49	-2,45

Ruuhka-aikaan vaikutukset olivat hieman kaikkien aikojen keskiarvoa pienemmät, ko-
konaishyödyn ollessa keskimäärin 6%.

Kuvassa 28 on esitetty ajoaikojen jakauman muutos linjan 1 osalta suuntaan 1 ajettaes-
sa. Taulukossa on esitetty tilanne ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville annettujen
etuuksien osalta. Linjan 21 suunnan 1 osalta sama vertailu on esitetty kuvassa 29.



Kuva 28. Ajoaikojen jakauman muutos myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä linjalla 1/1.



Kuva 29. Ajoaikojen jakauman muutos myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä linjalla 21/1.

Kuvista on havaittavissa selkeästi jakauman muutos positiiviseen suuntaan etuuksien myötä. Samalla selkeästi huomataan, kuinka linjan 21 osalta vaikutukset ovat merkittävästi suuremmat kuin linjalla 1, kuten edellisten tarkasteluiden perusteella oli odotettavissakin.

4.2.3.2 Sijainti suhteessa aikatauluun

Kuten aiemmin on jo todettu, myöhässä oleville ajoneuvoille myönnettävien etuuksien pääsääntöisenä tarkoituksena on nopeuttaa aikataulustaan jälkeen jääneitä ajoneuvoja, ilman, että aikataulustaan edellä olevat hyötyisivät tästä ja karkaisivat aikataulusta entisestään. Koska tutkittu alue on hyvin pieni koko reitin pituuteen suhteutettuna, ei voida olettaa että pienen alueen vaikutukset näkyisivät koko linjan tasolla. Näin ollen täsmällisyys ei vielä näiden muutosten osalta parane merkittävästi koko linjan pituudella.

Tuloksia tarkasteltaessa on myös otettava huomioon että seuraavissa tarkasteluissa on mukaan otettu kaikki ajoneuvot, ei vain etuudet saavia. Tuloksia tarkasteltaessa on lisäksi huomioitava pieni merkitys lähtötilanteiden eroavaisuuksissa. Koska vaikutusten selvittäminen näillä asetuksilla ajoneuvon sijaintiin suhteessa aikatauluun on hyvin merkittävä osa työtä, tullaan tässä luvussa tarkastelemaan asiaa hieman syvällisemmin, kuin edellisten asetusten osalta. Merkittävässä roolissa tarkasteluissa on ajoneuvojen keskihajonnan muutokset suhteessa aikataulun mukaisiin aikoihin.

Keskihajontaa käytetään kuvaamaan aineiston hajontaa keskiarvon ympärillä. Normaali-jakauman tilanteessa keskihajonnalla tarkoitetaan lukua, jonka päässä keskiarvosta on ajoneuvoista 68,27%, mutta koska tässä työssä käytetty aineisto ei täysin noudata normaalijakaumaa, voidaan karkeasti arvioida, että keskihajonta kuvaa sitä sekuntimäärää, jonka sisällä noin 2/3 kaikista ajoneuvoista ovat myöhässäolon keskiarvosta. Keskihajonnan muutoksia alueen alku- ja loppupäässä tarkastellaan sekunteina.

Alue 1 – Sammon valtatie

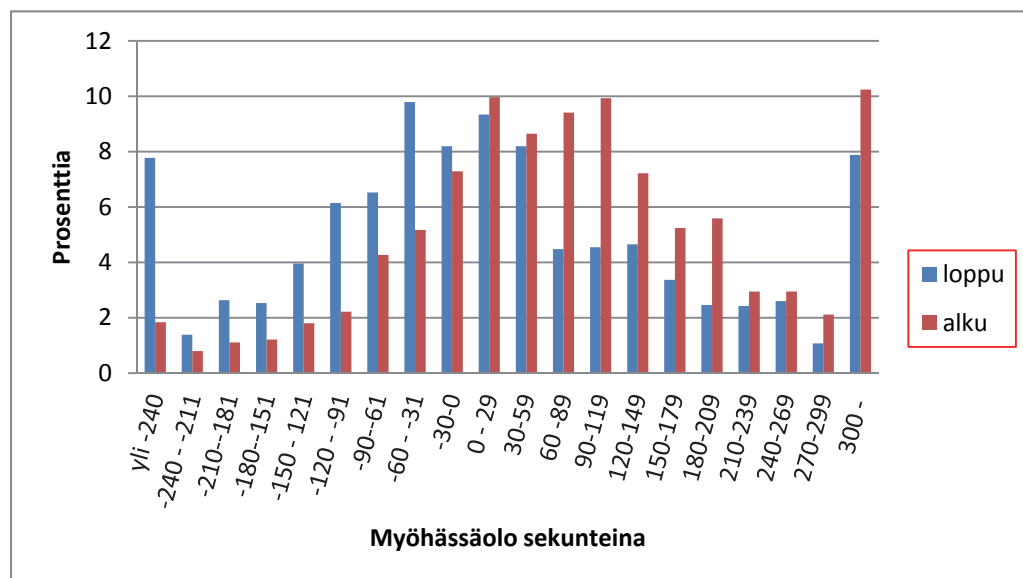
Alueella 1 etuuksien vaikutukset aikataulun mukaisesti liikennöimiseen olivat edelleen merkittävät myös myöhässä oleville annettujen etuuksien osalta. Kaikista alueelle saapuvista ajoneuvoista 71% oli myöhässä aikataulustaan, kun alueelta poistuttaessa vain 51% ajoneuvoista oli enää myöhässä etuudet myönnettäessä.

Keskimäärin ajoneuvot saivat näillä asetuksilla aikataulua kiinni 78 sekuntia. Alkupäässä aikataulusta oltiin myöhässä 105 sekuntia ja loppupäässä 27 sekuntia, kun taas ilman etuuksia myöhässä oltiin lopussa vielä 60 sekuntia myöhässä ja kaikille etuudet myönnettäessä 30 sekuntia edellä. Taulukosta 25 voidaan havaita, että molemmilla linjoilla molempiin suuntiin etuuksien vaikutukset ovat lähes identtiset kiinnioton kannalta kun verrataan tilanteeseen, jossa etuuksia ei anneta. Kiinniottojen erotus oli noin 30 sekuntia kaikilla suunnilla.

Taulukko 25. Ajoneuvojen sijainnin muutos suhteessa aikatauluun myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Linja/ Ajosuunta	Alku (s)		Loppu (s)		Kiinniotto (s)	
	Ilman etuuksia	Myöhässä olevien Etuuksilla	Ilman etuuksia	Myöhässä olevien Etuuksilla	Ilman etuuksia	Myöhässä olevien Etuuksilla
Linja 17 suunta 1 (keskustaan)	88,52	76,31	72,56	34,75	15,96	41,56
Linja 37 suunta 1 (keskustaan)	162,91	179,32	64,31	61,15	98,60	118,17
Linja 17 suunta 2 (keskustasta)	104,52	64,45	51,00	-25,42	53,52	89,87
Linja 37 suunta 2 (keskustasta)	145,10	152,68	82,94	61,64	62,16	91,03

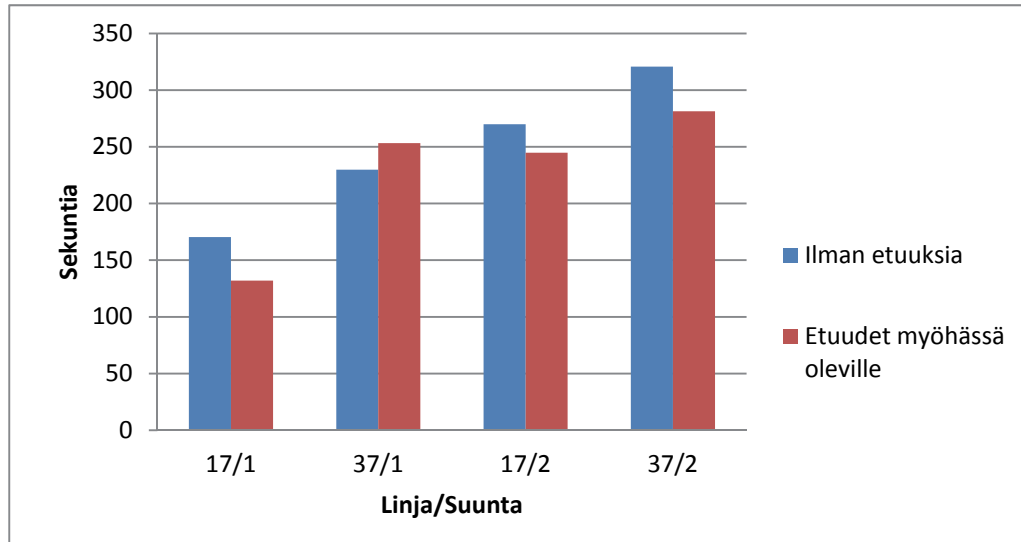
Kuvassa 30 on puolestaan esitetty ajoneuvon sijainnin muutos suhteessa aikataulun alueen alku- ja loppupään osalta, josta havaitaan selkeästi painopisteen vahva siistyminen vasemmalle, kohti aikataulusta edelläoloa.



Kuva 30. Ajoneuvojen sijainnin muutos suhteessa aikatauluun alueen 1 alku- ja loppupäässä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

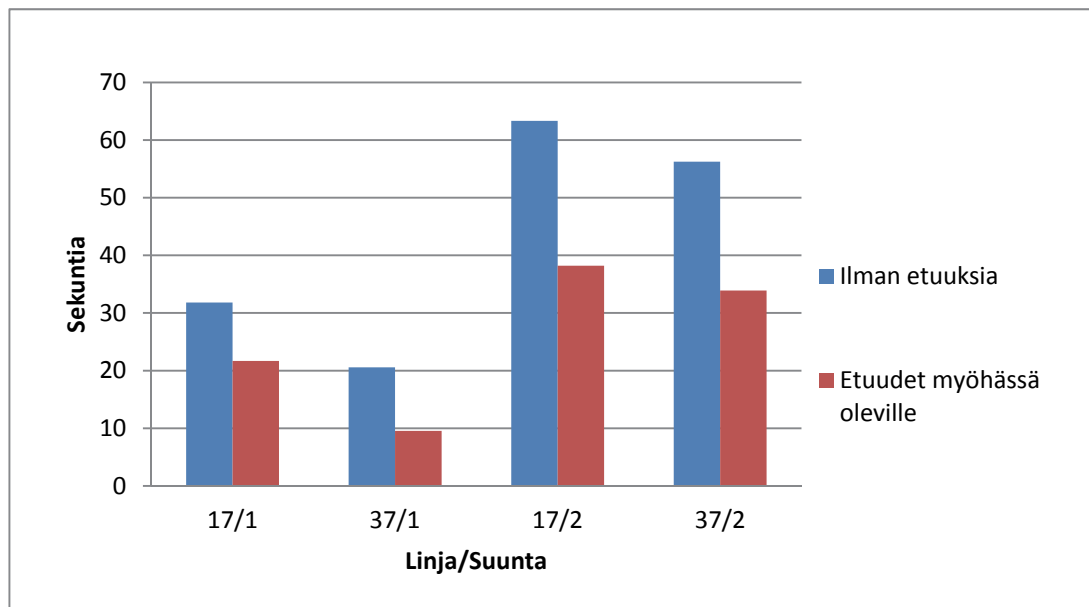
Koska ylläolevat tulokset ovat keskiarvoja, eivät ne ota juurikaan kantaa aikataululliseen hajontaan. Aikataulullisen hajonnan muutoksen vertailua kahden eri asetuksen välillä ei ole myöskään mielekästä vertailla keskiarvojen perusteella kaavioilla eroavien lähtötilanteiden vuoksi. Tämän vuoksi sijaintia suhteessa aikatauluun verrataan seuraavaksi keskihajonnan ja sen muutoksen kautta.

Keskihajontaa tutkimalla havaitaan, että alueella 1 myöhässä olevien etuuksien avulla kaikkien ajoneuvojen myöhässäolon keskihajonta alueen loppupäässä pienenee 45 sekuntia 247 sekunnista 202 sekuntiin, eli 18%. Keskihajonnat linjakohtaisesti on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31. Keskihajonnat alueella 1 ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

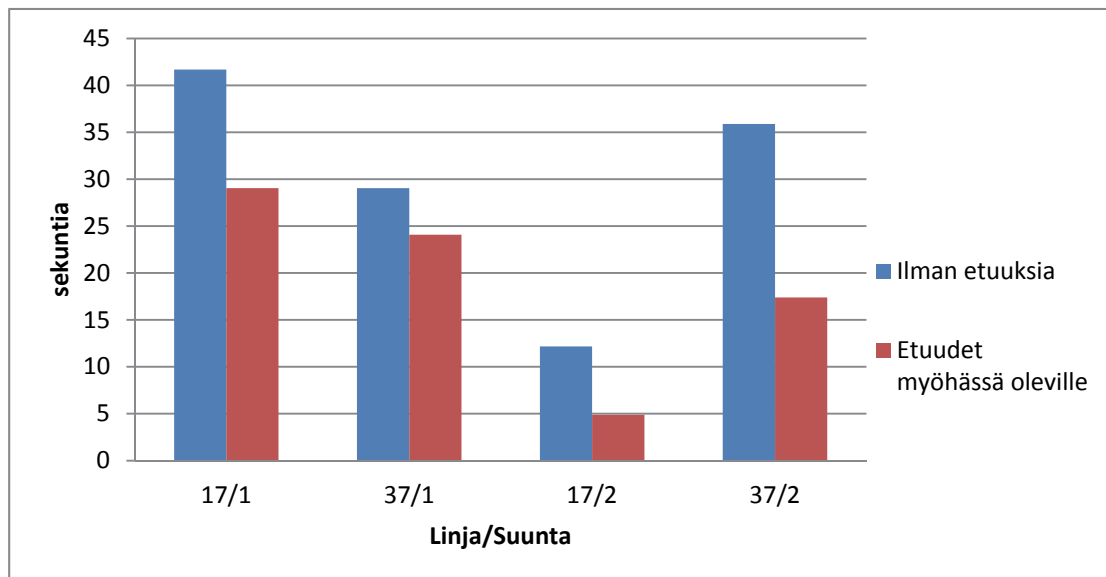
Koska lähtökohdat ovat kuitenkin hieman erilaiset, on tätä muutosta syytä tutkia kuitenkin hajonnan muutoksen avulla, jotta saadaan realistinen kuva vaikutuksista. Tutkimalla alueen alku- ja loppupään keskihajontojen muutoksia, havaitaan, että itseasiassa alueen sisällä hajonta kasvaa merkittävästi ilman etuuksia, mutta hajonnan kasvu pienenee etuuksien avulla.



Kuva 32. Keskihajonnan muutos alueella 1 ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

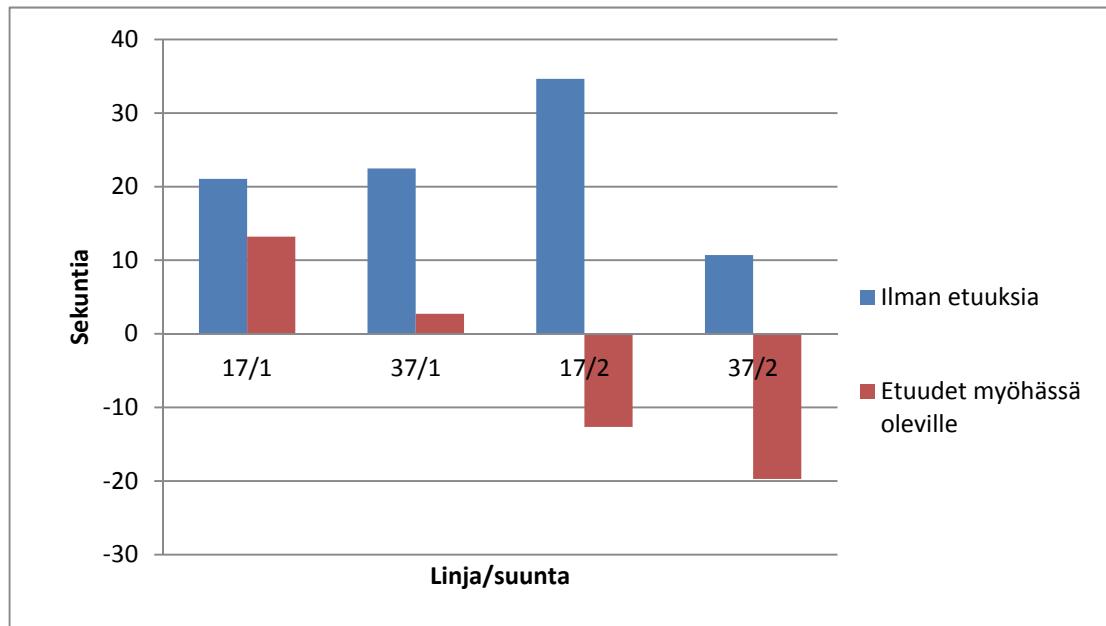
Kuvasta havaitaan, että keskihajonta kasvoi molemmissa tapauksissa, mutta myöhässä oleville ajoneuvoille etuus myönnettäessä hajonnan kasvu lähes puolittui sen kasvaessa keskimäärin vain 25 sekuntia, kun ilman etuuksia keskihajonta kasvoi 40 sekuntia. Huomioitavaa on myös, että keskihajonnan pienenemisen lisäksi myöhässä olon keskiarvo pieneni 33 sekuntia. Tämän perusteella siis 2/3 ajoneuvoista liikennöi alueen loppupäässä merkittävästi lähempänä tavoiteaikataulua kuin ilman etuuksia. Etuuksien myötä keskihajonta oli 227 sekuntia, jolloin 2/3 ajoneuvoista liikennöi alueen loppupäässä -200 - 252 sekuntia myöhässä aikataulustaan, kun ilman etuuksia keskihajonta oli 247 sekuntia, eli sama aikaväli oli -187 - 307 sekuntia myöhässä, eli merkittävästi aikataulustaan myöhässä olevien ajoneuvojen osuus oli huomattavasti pienempi.

Ruuhka-aikaan suuntakohtaisesti oli havaittavissa pieniä eroavaisuuksia. Aamuruuhkan aikaan vaikutukset olivat linjakohtaisesti hyvin samanlaisia, suunnan 2 ajoneuvojen hajonnan kasvun vähentyessä suhteellisesti enemmän kuin suunnan 1 ajoneuvoilla.



Kuva 33. Keskihajonnan muutos aamuruuhkan aikana alueella 1 ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Iltapäiväruuhkan aikaan eroavaisuudet olivat huomattavasti merkittävämmät. Suunnassa 1 hajonnan kasvu lähes puolittui, kun taas suunnassa 2 hajontaa saatiin jopa pienene-mään merkittävästi. Keskihajonnan vähäisempää kasvua ruuhka-aikoina voidaan osit-tain selittää sillä, etteivät ajoneuvot välttämättä saa etuuksia ruuhka-ajan ulkopuolella yhtä paljon. Tällöin ajoneuvojen ei ole mahdollista hyötyä etuuksista niin suurissa mää-rin kuin ruuhka-aikana, joka johtaa lopulta hajonnan suurempaan kasvuun.



Kuva 34. Keskihajonnan muutos iltapäiväruuhkan aikana alueella 1 ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Alue 2 – Hatanpään valtatie

Alueella 2 etuuksien vaikutukset myöhässäoloon vaihtelivat merkittävästi linjakohtaisesti, kuten oli odotettavissakin. Linjalla 1 hyöty oli molempiin suuntiin samanlainen, kun aikataulua saatiin kiinni noin 10 sekuntia enemmän etuuksien avulla verrattuna lähtötilanteeseen. Linjalla 21 suuntaan 1 ajettaessa etuuksien avulla saavutettiin puolestaan jopa 60 sekunnin aikasäästö lähtötilanteeseen verrattuna, mutta suuntaan 2 hyödyt jäivät huomattavasti pienemmiksi. Tätä selittää se, että suuntaan 1 ajettaessa merkittävimmät hyödyt saavutetaan liittymissä 530 ja 523 joissa käännetään vasemmalle, kun taas suuntaan 2 mennessä samoissa liittymissä käännetään oikealle, jolloin etuuksilla on hyvin vaikea saavuttaa etuuksia liikennevalojen aiheuttamien viivytysten ollessa jo lähtökohdaisesti pieniä.

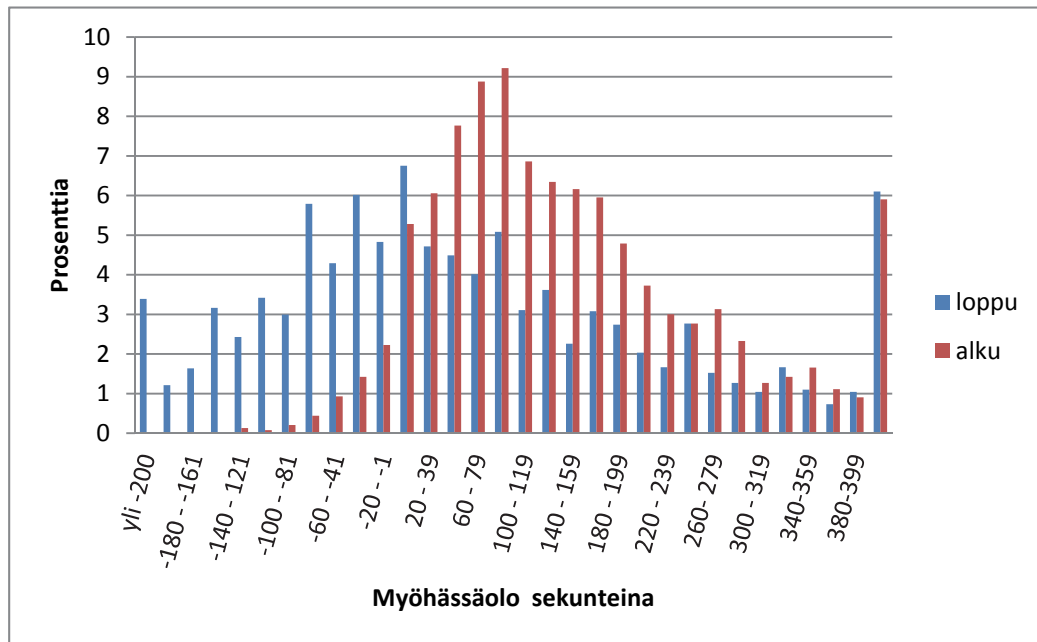
Kaikista alueelle saapuvista ajoneuvoista 94% oli myöhässä aikataulustaan, kun alueelta poistuttaessa vain 60% ajoneuvoista oli enää myöhässä etuudet myönnettäessä. Keskimäärin ajoneuvot saivat näillä asetuksilla aikataulua kiinni 82 sekuntia, kun taas ilman etuuksia kiinniotto oli keskimäärin 73 sekuntia. Alkupäässä aikataulusta oltiin myöhässä 154 sekuntia ja loppupäässä 72 sekuntia.

Taulukko 26. Ajoneuvojen sijainti suhteessa aikatauluun ilman etuuksia ja myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Linja/ Ajosuunta	Alku (s)		Loppu (s)		Kiinniotto	
	Ilman etuuksia	Myöhässä olevien Etuuksilla	Ilman etuuksia	Myöhässä olevien Etuuksilla	Ilman etuuksia	Myöhässä olevien Etuuksilla
Linja 1 suunta 1 (keskustaan)	96,61	111,01	-27,70	-21,40	124,30	132,42
Linja 21 suunta 1 (keskustaan)	144,76	145,50	31,10689	-16,11	113,66	161,62
Linja 1 suunta 2 (keskustasta)	174,92	190,95	165,97	172,03	8,95	18,92
Linja 21 suunta 2 (keskustasta)	157,68	159,75	104,83	99,24	52,85	60,51

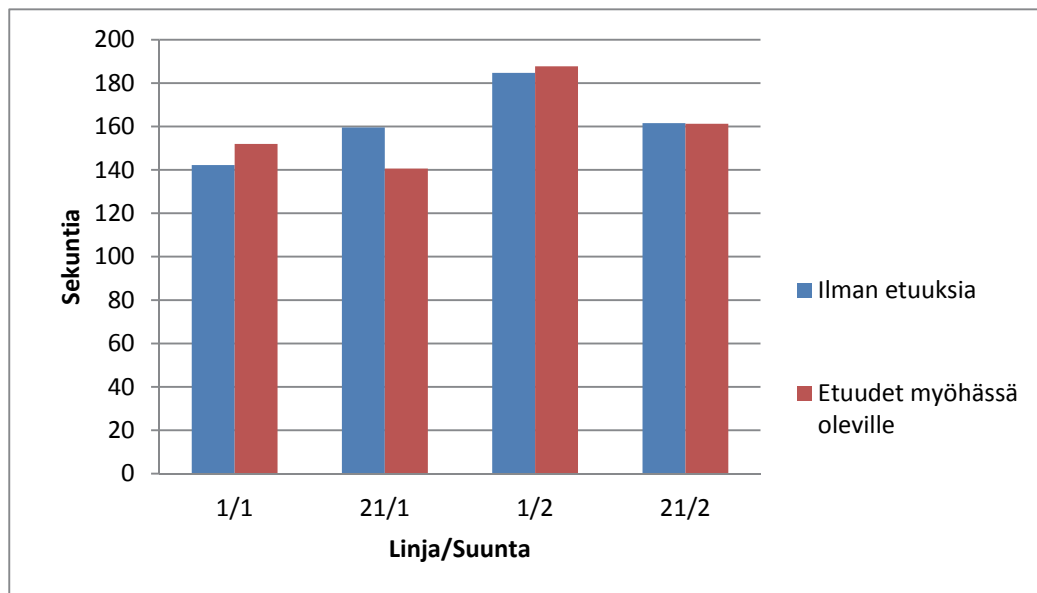
Kuten alueella 1, eivät ylläolevan taulukon keskiarvot ota juurikaan kantaa aikataululliseen hajontaan, jota etuuksilla pyritään vähentämään. Tässäkään tapauksessa aikataulullisen hajonnan muutoksen vertailua kahden eri asetuksen välillä ei ole myöskään mielekästä vertailla keskiarvojen perusteella kaavoiden avulla, sillä alueella 2 lähtötilanteet erosivat toisistaan huomattavasti enemmän kuin alueella 1. Tämän vuoksi seuraavassa tarkastellaan sijaintia suhteessa aikatauluun keskihajonnan ja sen muutoksen kautta.

Kun tarkastellaan myöhässäoloa aikataulusta kaikilla ajoneuvoilla (kuva 35), havaitaan hajonnan säilyttävän silmämääräisesti hyvin samanlaisen profiilin alueen alku- ja loppupään osalta, hajonnan hieman kasvaessa, mutta myöhässäolon pienenevän huomattavasti.



Kuva 35. Myöhässäolon hajonnat alueella 2 myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Keskihajonnan perusteella alueella 2 myöhässä olevien etuuksien avulla kaikkien ajoneuvojen myöhässäolon keskihajonta alueen loppupäässä pienenee 2 sekuntia 162 sekunnista 160 sekuntiin, eli 1,3%. Keskihajonnat linjakohtaisesti on esitetty kuvassa 36.

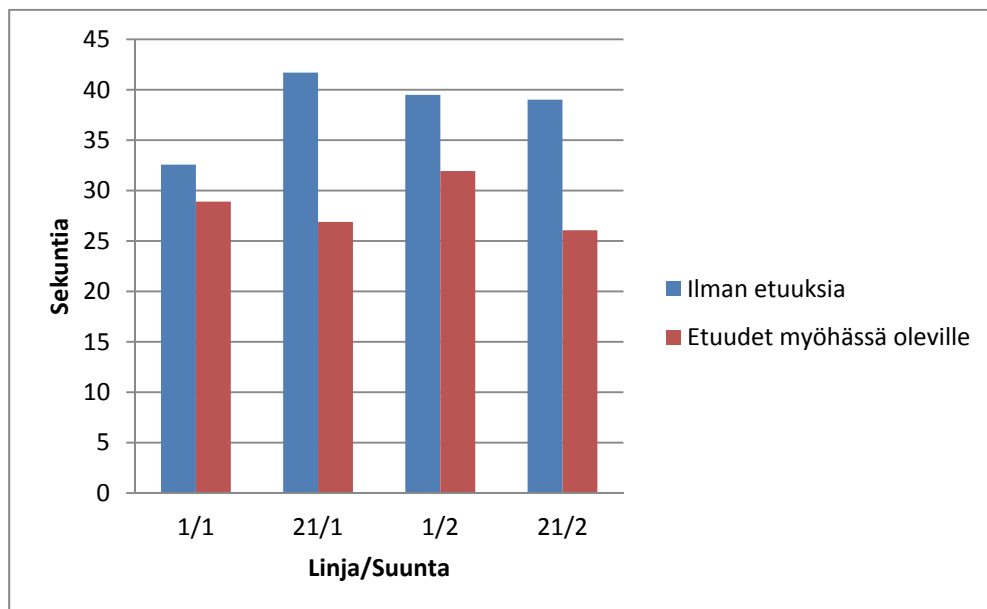


Kuva 36. Myöhässäolon keskihajonnat alueella 2 ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Koska lähtötilanteet ovat reilusti erilaiset kuin vastaavassa vertailussa alueella 1, on etenkin alueen 2 osalta tarpeen tutkia hajonnan muutoksen avulla, jotta saadaan realistinen kuva vaikutuksista. Hajonnan muutoksessa tutkitaan alueen alku- ja loppupään keskihajontojen muutoksia. Muutoksia tarkastelemalla havaitaan, että myös alueella 2 alu-

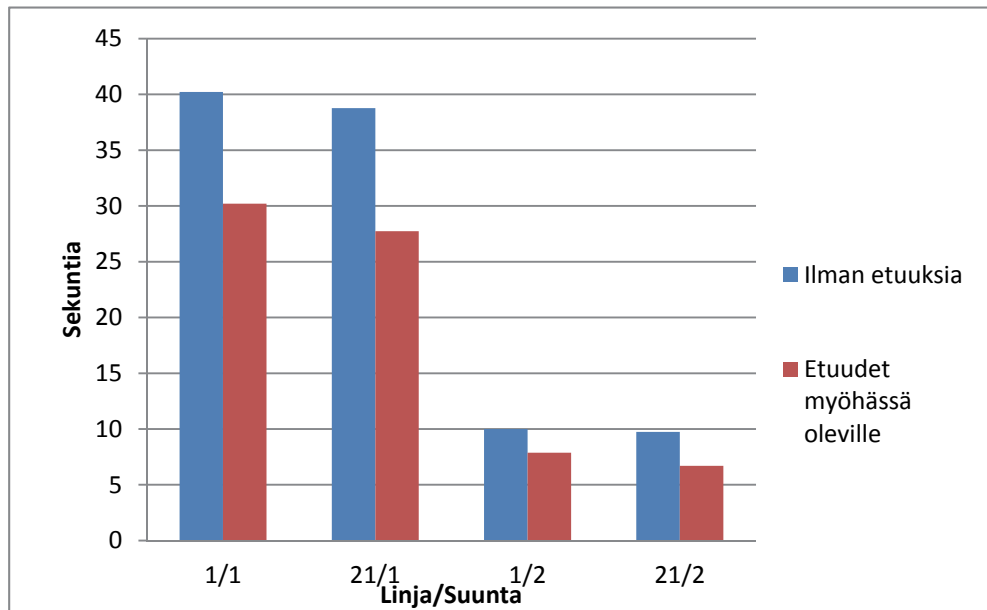
een sisällä hajonta kasvaa merkittävästi ilman etuuksia, mutta hajonnan kasvu pienenee etuuksien avulla. Keskihajonnan muutoksen (kuva 36) perusteella voimmekin päätellä, että suurin hyöty etuuksista on linjalle 21, kun taas linjalle 1 hyödyt ovat myöskin selkeästi havaittavissa, mutta kuitenkin pienemmät kuin linjalla 21.

Keskimäärin keskihajonnan muutos alueen sisällä oli +28 sekuntia, kun ilman etuuksia vastaava luku oli +38 sekuntia. Koska alueella ajoneuvojen keskimääräinen myöhässä-olo ei vähentynyt yhtä runsaasti kuin alueella 1, voidaan todeta, ettei alueella 2 myöhässä-oleville ajoneuvoille myönnettyillä etuuksilla ollut yhtä suurta hyötyä. Tämä voidaan kuitenkin selittää pääosin sen avulla, että alueen 2 otannasta linjan 21 ajoneuvojen osuus oli pienempi kuin linjan 1, jonka osalta ollaan jo aiemmin todettu, ettei etuuksien avulla voida merkittävää etua saavuttaa reitin varrella olevien liittymien luonteen vuoksi.



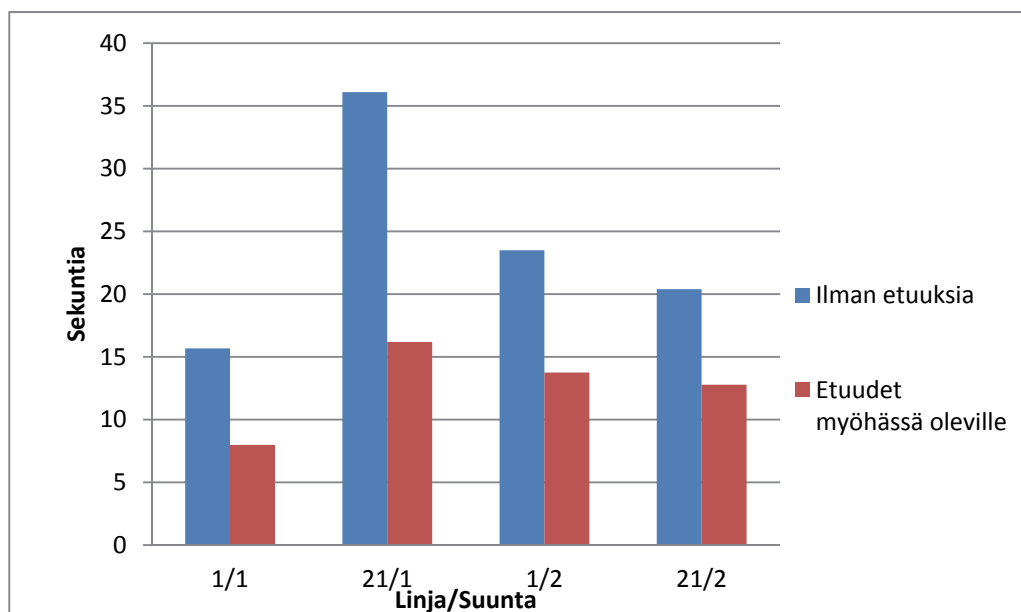
Kuva 37. Keskihajonnan muutos alueella 2 ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Ruuhka-aikaan suuntakohtaisesti oli havaittavissa pieniä eroavaisuuksia. Kun tarkastellaan hajonnan muutoksia aamuruuhkan aikaan, havaitaan suhteellisten hyötyjen olevan molempiin suuntiin hyvin samanlaiset, hajonnan kasvun pienennyttyä noin 25%. Aamuruuhkan aikaan vaikutukset olivat suuntakohtaisesti hyvin samanlaisia, suuntaan 1 hajonta pieneni molemmilla linjoilla noin 10 sekuntia, kun taas suuntaan 2 hajonta pieneni 2 sekuntia.



Kuva 38. Keskihajonnan muutos aamuruuhkan aikana ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

Kuten alueella 1, myös alueella 2 iltapäiväruuhkan aikaan hyödyt olivat suuremmat kuin aamuruuhkien aikaan, hajonnan kasvun vähentyessä lähes 50%. Myöskään iltaruuhkan aikaan ajosuunnalla ei ollut merkittävää vaikutusta muutoksiin.



Kuva 39. Keskihajonnan muutos iltapäiväruuhkan aikana ilman etuuksia, sekä myöhässä oleville ajoneuvoille annettujen etuuksien myötä.

4.2.4 Vaikutus muuhun liikenteeseen

Muun liikenteen vaikutuksia tutkittiin Sammon valtatie ja Harankadun liittymässä, jossa valmiiksi asennettujen laitteiden avulla saatiin kerättyä tietoa liikennemääristä, ajoneuvojen keskimääräisistä nopeuksista, sekä läpimenoajoista.

Liittymän läpi ajaneista ajoneuvoista saadun datan perustella ilman myönnettyjä etuuksia keskimäärin 36,0% ajoneuvoista pääsi ajamaan liittymän läpi pysähtymättä ja keskimääräinen liikennevalojen aiheuttama viivytys oli 8,5 sekuntia. Kaikille ajoneuvoille myönnettyjen etuuksien myötä ajoneuvoista keskimäärin 35,5% joutui pysähtymään ja keskimääräinen liikennevalojen viivytys oli 8,4 sekuntia. Kun vain myöhässä oleville ajoneuvoille myönnettiin etuudet, kaikista ajoneuvoista joutui pysähtymään 34,8 ja keskimääräinen viivytys oli 8,1 sekuntia.

Tuloksia tarkisteltaessa havaitaan, että myös muiden ajoneuvojen ajoaika pieneni etuuksien myötä. Tämän kuitenkin selittää suurimmaksi osaksi pienentyneet liikennemäärät aikaväleillä, joilla muulle liikenteelle aiheutuvia vaikutuksia tutkittiin. Rekisteröityjä ajoneuvoja oli ajanjaksolla, jolloin kaikille joukkoliikenteen ajoneuvoille annettiin etuudet 11% vähemmän, kuin aikavälillä, jolloin etuuksia ei annettu. Myös aikana, jolloin vain myöhässä olevat ajoneuvot saivat etuudet, oli rekisteröityjen ajoneuvojen määrä 28% pienempi, jolloin luonnollisesti liikennevalojen aiheuttamat viivytykset vähenivät.

Käytännössä siis muulle liikenteelle aiheutuvaa haittaa on vaikea arvioida, mutta voidaan olettaa, että vaikutukset identtisillä liikennemäärillä olisivat kaikesta huolimatta hyvin pienet, viivytyksen keskiarvon ollessa korkeintaan muutamia sekunnin kymmenyksiä. Käytännössä yksityisautoilijan ei siten ole mahdollista havaita näitä viivytyksiä normaalissa ajossa.

4.2.5 Etuuksien vaikutukset suunnittelun näkökulmasta

4.2.5.1 Aikataulusuunnittelu

Taulukoihin 27 ja 28 on koottu todetut vaikutukset aluekohtaisesti molemmilla tutkituilla asetuksilla. Taulukoissa on verrattu asetuksia tilanteeseen, jossa etuuksia ei annettu.

Taulukko 27. Kaikille myönnettyjen etuuksien vaikutukset verrattuna tilanteeseen ilman etuuksia.

	Ajoaika alueen läpi	Ajoaika/Liittymä	Myöhässäolo	Keskihajonnan muutos
Alue 1	-11%	-5,3s	-36s (70%)	-13s
Alue 2	-7%	-3,5s	-37s (50%)	-2s

Taulukko 28. Myöhässä oleville myönnettyjen etuuksien vaikutukset verrattuna tilanteeseen ilman etuuksia.

	Ajoaika alueen läpi	Ajoaika/Liittymä	Myöhässäolo	Keskihajonnan muutos
Alue 1	-7%	-3,3s	-27s (50%)	-17s
Alue 2	-4%	-1,4s	-9s (12%)	-10s

Näiden asetusten keskenään vertailun myötä havaitaan, että kaikille myönnettyjen etuuksien avulla ajoaikaa saadaan lyhennettyä selvästi enemmän kuin pelkästään myöhässäoleville. Tämä on kuitenkin oletettua kun muistetaan että aineistossa on mukana kaikki tutkittujen linjojen ajoneuvot huolimatta siitä, onko näille myönnetty etuuksia vai ei.

Lisäksi kaikille etuudet antamalla ajoneuvojen myöhässäolo väheni enemmän, joka puolestaan selittyy sillä, että myös edellä aikataulustaan olevat ajoneuvot saavat etuuden, jolloin ne myös pääsevät edelle aikataulua entisestään. Tämä puolestaan johtaa siihen, että kun myös edellä olevien ajoneuvojen negatiivinen myöhässäolo(aikataulusta edellä) otetaan huomioon laskelmissa, vähenee keskimääräinen myöhässäolo entisestään.

Kuitenkin, kun vertaillaan täsmällisyyden muutosta, huomataan, että myöhässäoleville myönnettyjen etuuksien avulla saadaan noin kaksinkertainen hyöty verrattuna tilanteeseen, jossa kaikille myönnetään etuudet. Hajonnan muutosta tarkasteltaessa on huomioitava, että kaikissa tutkituissa tilanteissa keskiarvot lähestyvät nollaa, jolloin täsmällisyyden paraneminen alueen loppupäässä on lopulta merkittävästi parempi kuin pelkkä hajonnan muutos antaa ymmärtää.

Saatujen tuloksien perusteella voidaan arvioida, että myöhässä oleville ajoneuvoille annettavien etuuksien avulla koko linjan matkalta saatavat hyödyt ovat noin 2,5 sekuntia/liittymä silloin, kun linjan ajosuunta on liittymän pääajosuunnan mukainen ja noin 9 sekuntia silloin, kun ajetaan sen vastaisesti. Puolestaan kaikille ajoneuvoille etuudet myönnettäessä vastaavat aikasäästöt olisivat 4,5 sekuntia/liittymä pääajosuuntaan ajettaessa ja 13 sekuntia pääajosuunnan vastaisesti ajettaessa.

Näinollen esimerkiksi linjalla 17, jolla on yhteensä 30 liikennevalo-ohjattua liittymää, joista 4 pääajosuunnan vastaisesti, olisi kokonaishyöty linjan koko pituudella olisi 101 sekuntia, eli 5,5% nykyisestä matka-ajasta jos kaikissa liittymissä on asennettuna joukkoliikenteen etuudet. Muilla tutkituilla linjoilla vaikutukset olisivat seuraavanlaisia, kun etuudet myönnetään vain myöhässäoleville ajoneuvoille:

- Linja 37: 95 sekuntia/6%
- Linja 1: 126sekuntia/4,5%
- Linja 21: 115sekuntia/5,5%

Jos etuudet myönnetään kaikille ajoneuvoille, ajoaikojen lyhennys olisi seuraava:

- Linja 17: 169sekuntia/10,5%
- Linja 37: 155 sekuntia/10%
- Linja 1: 208sekuntia/7,5%
- Linja 21: 180sekuntia/8,5%

Tästä voidaan siis päätellä, että pelkkien etuuksien avulla ei todennäköisesti monellaakaan linjalla pystytä aikatauluja tiukentamaan pelkkien etuuksien avulla niin merkittävästi, että merkittäviä kustannussäästöjä syntyisi. Kuitenkin ajoajan nopeutumisen ja reittilinjausten muutoksien yhteisvaikutukset voivat olla hyvinkin positiivisia. Suurin hyöty etuuksista on kuitenkin linjoilla, joilla kiertoajat ovat hyvin tiukat, eikä aikataulussa ole pystytty pysymään vaaditulla tasolla. Näillä linjoilla pystytäänkin etuuksien avulla merkittävästi lisäämään asiakkaan kokemaa palvelutasoa kun ajoneuvojen myöhässäolo vähenee merkittävästi.

Aikataulunopeutuksilla ja täsmällisyyden paranemisella on tiukilla aikatauluilla liikenoivilla linjoilla mahdollisesti myös merkittävästi suurempi merkitys kuin edellä annettujen tulokset antavat ymmärtää. Ilman etuuksia vaarana on, että haitat kertaantuvat jokaisella kierrolla, kun ajoneuvo lähtökohtaisesti myöhästyy jokaisella kierroksella hieman tavoitellusta ajoajasta ja jää näin ollen jokaisella kierroksella hieman enemmän aina aikataulustaan jälkeen. Etuuksilla puolestaan pystytään tarjoamaan näille linjoille pientä helpotusta ja lisäämään mahdollisuuksia aikataulussaan pysymiselle.

4.2.5.2 Kustannussäästöt

Ajoaikojen nopeutuessa, sekä täsmällisyyden parantuessa voidaan saavuttaa merkittäviäkin kustannussäästöjä jos etuuksien vaikutuksesta aikatauluja voidaan tiukentaa ja näin jättää ajoneuvokierrosta ajoneuvoja pois.

Tampereella Tampereen kaupunkiliikenne-laitokselle (TKL) maksetaan tuotantosopimuksessa määritetyn suuruista korvausta autopäivien, linjatuntien sekä linjakilometrien mukaan. Yksityisille maksetaan kilpailutuskohteen sopimuksessa määritetyn suuruista korvausta. Hintoja korjataan neljännesvuosittain joukkoliikenneindeksillä, jossa huomioidaan muunmuassa polttoaineen hinnan muutokset.

Seuraavassa on esitetty esimerkki mahdollisista säästöistä muutaman tutkitun linjan osalta. Kustannukset on laskettu vuoden 2012 ensimmäisen kvartaalin TKL-hinnoilla, huomioimatta indeksin aiheuttamia hinnankorotuksia tulevaisuuden osalta.

Laskennassa käytetyt kustannukset ovat seuraavat:

0,86 €/linjakilometri

32 €/linjatunti

164 €/autopäivä

Linja 37

Linjalla 37 liikennöidään kahden ajoneuvon avulla puolen tunnin vuorovälein. Tämä tarkoittaa, että ajoajan tulisi siis lyhentyä 15 minuutilla, jos toinen auto halutaan tiputtaa pois kierrosta, jotta voitaisiin pitää puolen tunnin vuoroväli yhdellä autolla, eli käytännössä tämän on mahdotonta. Vaikka etuuksien avulla kustannussäästöjä ei synnykään, on huomioitavaa, että kyseisellä linjalla aikataulu on ollut erittäin tiukka ja aikataulusapysymisessä on ollut merkittäviä ongelmia.

Etuuksien avulla saadaan arviolta 2 minuutin ajoajan lyhennys, joka helpottaa merkittävästi aikataulussa pysymistä. Tämä puolestaan johtaa merkittävään palvelutason paranemiseen ja asiakastytyväisyyden kasvamiseen. Vaikka tälle ei virallisesti voidan määrittää rahallista arvoa, on sen arvo huomioitava yhtenä merkittävänä tekijänä joukkoliikenteen houkuttelevuuden paranemiselle. Ilman etuuksien vaikutuksia aikataulussa pysyminen olisi mahdollista vain reittiä lyhentämällä, joka heikentäisi merkittävästi tarjontaa poisjätettävällä alueella, eikä siten ole mielekäs vaihtoehto.

Linja 17

Linjalla 17 liikennöidään varsin löysällä aikataululla, jossa arkisin on ajokierrossa 4 ajoneuvoa aikavälillä 06-18 ja 3 ajoneuvoa aikavälillä 05-06 ja 18-23. Ajoneuvoille on määriteltä 80 minuutin kierrosaika ja aikataulun mukainen ajoaika on 32-33 minuuttia/suunta, jossa ei tähän asti ole pysytty kovinkaan hyvin. Käytännössä ajoajan lyheneminen 27 minuuttiin mahdollistaisi yhden ajoneuvon tiputtamisen kierrosta pois, kun liikennöinti voidaan suorittaa 60 minuutin kierrosajalla. Kuuden minuutin ajoajan lyhentäminen ei nykyisten tulosten valossa ole mahdollista, kun arvoitu ajoajan lyhennys myöhässä oleville ajoneuvoille etuudet myönnettäessä on noin 1,5 minuutilla ja kaikille etuudet myönnettäessä 3 minuuttia.

Jos linjan 17 reittiä muutettaisiin hieman ja päätepysäkki siirrettäisiin Pyynikintorilta Keskustorille, ajoaika lyhenisi entisestään arviolta 4 minuuttia. Tällöin 27 minuutin ajoaika vaatimus toteutuisi myöhässäoleville annettavilla etuuksillakin, kun otetaan huomioon myös parantunut täsmällisyys. Vaikka reitin lyhentäminen aiheuttaa kustannussäästöä maksettavien linjakilometrien vähentyessä, heikentää se toisaalta palvelua osuudella, joka reitistä jää pois. Tämän vuoksi linjakilometrien osalta kustannussäästöjä ei oteta näissä laskelmissa huomioon, vaan oletetaan kustannussäästöjen kompensoivan heikentyneen palvelutason poisjäävällä matkalla.

Laskelmien mukaan vuodessa on ajopäiviä talvikaudella 315 kappaletta, jolloin pelkästään yhden autopäivän vähennys tarkoittaisi 59 860€ säästöä vuositasona. Lisäksi linjatunteja voidaan vähentää arkipäivien (255 kpl/v) osalta aikaväliltä 06-23, lauantailta (50 kpl/v) aikaväliltä 07-23 ja pyhiltä (60 kpl/v) aikaväliltä 10-23,. Tällöin kustannussäästöt linjatuntien osalta olisivat vuositasona 189 280€, eli yhteensä 249 140€. (Myyryläinen, 2012)

Yleisesti

Kuten edellä mainittujen esimerkkien osalta voidaan päätellä, on jokaisella linjalla hyvin erilaiset lähtökohdat aikataulusuunnittelussa, eikä etuuksien vaikutuksia ole siten mahdollista tutkia kustannusten valossa yleisellä tasolla arvojen jäädessä hyvin yleismaalliseksi. Jotta kustannussäästöt saataisiin tarkasti arvioitua, pitäisi jokainen liikennöity linja arvioida erikseen. Edellämainittuja aikataulusäästöarvioita voidaan kuitenkin käyttää hyödyksi linja- ja aikataulumuutoksia harkittaessa, jolloin kustannussäästöt on helppo arvioida linjakohtaisesti.

5 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tämän tutkimuksen aikana tarkasteltiin joukkoliikenteen ajoneuvojen ajoaikojen ja täsmällisyyden nopeutumista hyvin karkealla tasolla. Kerätty aineisto tarjosi riittävän luotettavan lähtökohdan asetettujen tutkimuskysymysten tarkasteluun, mutta laajalaisempaan ja yksityiskohtaisempaan tutkimukseen tulisi kerätä tietoa huomattavasti pidemmältä matkalta ja aikaväliltä, jotta paremmin yleistettävissä olevia tuloksia voitaisiin saada. Tästä johtuen myös tämän työn osalta tutkimuskysymyksiä jouduttiin matkanvarrella hieman tarkastamaan. Lopulta työssä kuitenkin saavutettiin halutut tulokset ja työtä voidaan pitää onnistuneena.

Kehittyneen liikennevalo-ohjauksen ja reaaliaikaisen ajoneuvoseurannan yleistymisen myötä aktiivisten liikennevaloetuuksien yleistyminen on voimistunut vähitellen. Kuten työssä on tullut todettua, näillä joukkoliikenteen liikennevaloetuuksilla voidaan selkeästi vaikuttaa joukkoliikenteen ajoneuvojen täsmällisyyteen ja matka-aikaan, ilman että muu liikenne häiriintyy merkittävästi. Näiden vaikutusten lisäksi etuuksien avulla saadaan vaikutettua positiivisesti myös kustannuksiin, sekä ennenkaikkea matkustajien kokemaan palvelutasoon ja joukkoliikenteen houkuttelevuuteen täsmällisyyden parantuksessa. Lisäksi on otettava huomioon sivutuotteena syntyvän reaaliaikaisen matkustajainformaation tarjoamisen vaikutus asiakkaan kokemaan palvelutasoon.

Etuuksia suunniteltaessa on otettava saavutettavien hyötyjen lisäksi huomioon lukuisia eri tekijöitä, jotka vaikuttavat paitsi etuuksien tehokkuuteen, myös niiden kannattavuuteen. Tärkeimpinä tekijöinä näistä ovat alueen liikennemäärät, liittymien ajosuuntien keskenäinen hierarkia ja näiden välisten erojen suuruus, sekä niiden aiheuttamat keskimääräiset vaikutukset läpimenoajoissa.

Tästä hyvänä esimerkkinä on alueen 2 erikseen tarkastellut liittymät, joissa liikennemäärät ovat pääsääntöisesti suuret, mutta pääajosuunta on huomattavasti sivusuuntaa vilkkaammin liikennöity. Näissä liittymissä liikennevalojen aiheuttamat viivytykset pääsuunnan mukaisesti liikennöiville ajoneuvoille olivat jo lähtökohtaisesti pienet, eikä näinollen niihin voida juurikaan etuuksilla vaikuttaa. Kuitenkin näiden tarkasteltujen liittymien tapauksessa, myös sivusuunnilla liikennöi joukkoliikenteen ajoneuvoja, jolloin etuuksien asentaminen on lopulta kuitenkin ollut kannattavaa.

Suositeltavaa onkin, että kun uusia etuusliittymiä suunnitellaan, pyritäisiin valitsemaan ennen kaikkea sellaiset liittymät, jossa liittymän kautta kulkevan joukkoliikenteen

ajosuunta ei kulkisi pääajosuunnan. Lisäksi on syytä kiinnittää huomiota yhteenkytkettyjen liittymien osalta siihen, että yhteen yhteenkytketyistä liittymistä etuuksia suunniteltaessa myös muut liittymät varustetaan etuuksilla, jotta niistä saadaan maksimaalinen hyöty irti.

Muissa tässä työssä esitellyissä toteutuksissa on saatu hyvin positiivisia tuloksia joukkoliikenteen vaikutuksille ja tämän tutkimuksen osittaisena tarkoituksena oli saada myös selville, kuinka Tampereen järjestelmän vaikutukset ilmenevät suhteessa muihin järjestelmiin.

Muissa kaupungeissa joukkoliikenteen etuuksilla on todettu saatavan aikaan noin 5-10% aikasäästöt ja niissä toteutuksissa, joissa täsmällisyyttä on pystytty vertailemaan, myös täsmällisyys on parantunut keskimäärin 10-15%. Tampereella tutkitujen etuuksien vaikutukset ovat hyvin samansuuntaiset muiden esitelyjen etuusjärjestelmien vaikutusten kanssa. Saatujen tulosten perusteella voidaan arvioida, että esitetyistä järjestelmistä Lontoon toteutus ja sen todetut vaikutukset ovat kaikista lähimpänä Tampereen järjestelmää. Etuuksien vaikutus ajoajanopeutuksiin olivat keskimäärin 5% koko linjan pituudella kun etuudet myönnetään vain myöhässä oleville ja 9% kun ne myönnetään kaikille joukkoliikenteen ajoneuvoille, jotka olivat lopulta hyvin lähellä Lontoosta saatuja tuloksia.

Muiden kaupunkien osalta voidaan todeta, että vaikka tulokset kaikissa olivat hyvin samantyyppisiä, olivat järjestelmien toteutustavat selkeästi toisistaan ja Tampereen järjestelmästä poikkeavia. Lontoon lisäksi esimerkiksi Zurichista saadut tulokset joukkoliikenteen käyttäjämäärien kasvusta etuuksien myötä antavat Tampereellekin varsin positiivisen näkömän matkustajamäärien kasvun suhteen.

Aikasäästöjä tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että tarkastelun kohteena tässä työssä ovat pääsääntöisesti yksitaiset liittymät, tai pieni osuus linjan reitistä, harvemmin koko linjan pituus. Tarkasteltavaksi alueeksi valikoidaan helposti alue, jossa on runsaasti liikennevalo-ohjattuja liittymiä. Tämän vuoksi koko linjan alueella vaikutukset luonnollisesti jäävät usein huomattavasti pienemmiksi silloin, kun linjan alueella on lopulta vähemmän liikennevaloliittymiä suhteessa linjan pituuteen, kuin tarkastellulla alueella.

Täten, tutkimuksen rajoittuessa hyvin pienelle alueelle ja vain muutama linjaan on kokonaisvaltaisen vaikutusarvion luominen haastavaa ja siksi tutkimuksen tuloksia voidaan pitää vain ohjeellisena. Aikataulusuunnittelussa huomioitavaa on, että liittymäkohtaiset erot voivat olla hyvinkin merkittäviä, hyötyjen vaihdellessa 0-35% välillä eri liittymissä ja ajosuunnissa. Kuitenkin, arvioidessa koko linjan pituudelta vaikutuksia, vaihtelut tasaantuvat ja keskimääräinen hyöty liittymää kohden on tämän tutkimuksen pohjalta arvoitu olevan 2,5 sekuntia pääsuunnan mukaisesti ja 9 sekuntia pääsuunnan vastaisesti ajettaessa.

Täsmällisyys etuuksien avulla parani myös huomattavasti, kun lähes 50% enemmän ajoneuvoja pystyi liikennöimään minuutin sisällä aikataulusta etuuksien avulla. Täsmällisyyden paranemisesta on vaikea antaa tarkkoja lukuja erilaisten lähtötilanteiden vuoksi. On kuitenkin huomioitava, että täsmällisyyden parantuessa merkittävästi jo hyvin pienellä tutkimusalueella, tulevat vaikutukset moninkertaistumaan koko linjan pituuden osalta, kun myöhässäoloon pystytään vaikuttamaan jo linjan alusta lähtien. Tällöin on myös todennäköistä, että suuret myöhässäolot vähenevät merkittävästi.

Täsmällisyydestä puhuttaessa on kuitenkin huomioitavaa, että etuuksilla ei pystytä hidastamaan edellä olevia ajoneuvoja, vain pelkästään nopeuttamaan myöhässäolevia. Näinollen etenkin alueilla, joissa ajoneuvot menevät helposti edelle aikatauluaan, voidaan täsmällisyyttä parantaa etuuksien lisäksi sillä, että kuljettajille pystyttäisiin tuomaan tieto ajoneuvon senhetkisestä sijainnista aikataulun suhteen. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi kehittämällä järjestelmä, joka varoittaa kuljettajaa tietyin väliajoin, jos ajetaan merkittävästi edellä aikataulustaan.

Verratessa tutkittuja asetuksia keskenään, huomataan, että asetusten paremmuusjärjestys riippuu täysin siitä, mitä etuuksilla halutaan saavuttaa. Kaikille etuudet myönnettäessä ajoajat lyhenivät enemmän, kun taas myöhässä oleville etuudet myönnettäessä täsmällisyys parani enemmän.

Pääsääntöisesti voidaan arvella, että kaikille ajoneuvoille myönnettäessä etuudet, saadaan aikaan luotua selkeitä ajoaikasäästöjä. Lisäksi myöhässä olevia ajoneuvoja saadaan lähemmäs tavoiteaikataulua, jolloin lyhyellä aikavälillä myöhässäolo vähenee merkittävästi. Kuitenkin, täsmällisyys paranee pitkällä aikavälillä tarkasteltaessa huomattavasti paremmin silloin, kun etuudet myönnetään vain myöhässäoleville. Tällöin edellä aikatauluaan olevien osuutta voidaan vähentää tilanteesta, jossa kaikille etuudet myönnetään.

Tampereella etuuksien avulla pyritään ensisijaisesti saavuttamaan ajoneuvojen parempi täsmällisyys keskihajontaa pienentämällä. Koska kaikille etuudet myönnettäessä myöhässäolon keskihajonta ei muuttunut kovinkaan merkittävästi. Voidaankin todeta, että kun pyritään tarkentamaan aikataulua ja parantamaan täsmällisyyttä, ei kaikille myönnettävät etuudet palvele tavoitetta saatujen tulosten valossa juurikaan. Näin ollen voidaan todeta, että myöhässäoleville myönnettävät etuudet ovat vaikutuksiltaan selvästi paremmat Tampereen tavoitteiden valossa, jolloin suositeltavaa on, että jatkossa Tampereella hyödynetään vain myöhässäolevien etuuksia.

Muulle liikenteelle ei havaittu nykyisillä liikennemäärillä ja etuuksien myöntämistiheydellä olevan merkittävää haittaa. Havaintojen mukaan liikennevalojen aiheuttamat viivytykset eri asetuksilla olivat hyvin lähellä toisiaan, eikä niitä voida pitää havaittavissa

olevina yksityisautoilijan kannalta. Tuloksien perusteella voidaankin olettaa, että vaikutukset muuttuvat havaittaviksi vasta, kun liikennemäärät kasvavat lähelle liittymän maksimaalista välityskykyä ja etuuksien myöntämistiheys kasvaa merkittävästi.

Koska tutkimustulokset tarjoavat hyvin pintapuoleisen analyysin vaikutuksista, on järjestelmän vaikutuksia todennäköisesti tarpeen tarkastella tarkemmin vielä siinä vaiheessa, kun joukkoliikenteen etuudet on saatu laajemmin käyttöön. Tällöin tutkittua aluetta voidaan laajentaa ja tuloksista voidaan olettaa muodostuvan luotettavampia koko toimintaa tarkastellessa. Lisäksi jatkotutkimuksissa todennäköisesti on kannattavampaa keskittyä tutkimaan vain myöhässäolevien ajoneuvojen etuuksien vaikutuksia, olettaen niiden olevan jatkossa pääsääntöisesti käytössä.

Kuitenkin huomioitavaa on, että tutkimuksena aikana havaittiin selkeästi, etteivät aikataulut linjan varrella ole täysin realistiset aikatauluun suhteutettujen sijaintien poiketessa merkittävästi todellisista sijainneista. Tästä johtuen ennen jatkotutkimuksia Tampereella on suositeltavaa tarkentaa ja oikaista aikatauluja reittien varrella nykyisten etuuksien myötä toteutuvien ajoaikojen avulla, jotta etuuksista voidaan saada maksimaalinen hyöty selville tulevilla selvityksillä.

Aikatauluja joudutaan etuuksien vaikutuksesta syntyvien muutosten vuoksi todennäköisesti tarkentamaan vielä useamman kerran. Oletettavaa onkin, että ennen kuin optimaaliset aikataulut saadaan luotua ja etuuksista kaikki hyöty irti, joudutaan aikatauluja tarkentamaan ja vaikutuksia tutkimaan vuorotellen vielä muutamaan otteeseen.

LÄHTEET

- Al-Mudhaffar, A. 2006, Impacts of Traffic Signal Control Strategies Azhar, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden. 220s.
- Clarke et al. 2007. Mass deployment of bus priority using real-time passenger information systems in London, European transport conference, 2007
- Civitas 2005, Evaluation Report – Transport Management (WP11), Trendsetter Report No 2005:9 Trendsetter External Deliverable No 4.3g. 72s.
- Davol, A. 2001. Modeling of Traffic Signal Control and Transit Signal Priority Strategies in a Microscopic Simulation Laboratory. Massachusetts institute of Technology. 118s.
- Dion, F. Rakha, H., Zhang Y. 2004. Evaluation of potential transit signal priority benefits along a fixed-time signalized arterial. 23s.
- Furth, P., Muller, T. 2000. Conditional Bus Priority at Signalized Intersections: Better Service with Less Traffic Disruption. Transportation Research Record 1731, 2000, pp. 23-30.
- Garrow, M., Machmehel, R. 1997, Development and Evaluation of Transit Signal Priority Strategies, Southwest Region University. Transportation Center, College Station, TX. 150s.
- Happonen, H., Vihanti, K. 2006. Tampereen paikallisliikenteen hallintajärjestelmän (PARAS) vaikutustutkimus – loppuraportti. 84s.
- Helsingin liikenteenohjauskeskus 2010. Joukkoliikenteen liikennevaloetus – miten se toimii, [Viitattu 15.8.2011] Saatavilla:
http://www.hel2.fi/liikenteenohjaus/liikennevaloetudet/etuuden_toiminta.asp
- Hounsell, N, McLeod, F., Sherestha B. 2004. Bus priority at traffic signals: investigating the options. 12th IEE International Conference on Road Transport Information and Control. ss. 287-294
- Hounsell N., Shrestha B., Palmer, S., Bowen T. and D’Souza C. 2008. New Strategy Options for Bus Priority at Traffic Signals in London.
- Hwang, M., Kemp, J., Lerner-Lam, E., Neuerburg, N., Okunieff, P., Schiavone, J. 2006. Advanced Public Transportation Systems: State of the Art Update 2006. US department of Transportation. 264s.

- Gardner, K., D'Souza, C., Hounsell, N., Shrestha, B., Bretherton, D., 2009. Review of Bus Priority at Traffic Signals around the World, UITP Bus Committee. 54s [Viitattu 14.8.2011]. Saatavilla: http://www.trg.soton.ac.uk/research/bus/UITP_WORKING_GROUP_Interaction_of_buses_signals_at_road_crossings-FINAL_REPORT_V2.0-April_2009.pdf,
- Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. Liiketaloudellinen Aikakauskirja, No 3. ss. 301–327.
- Kim, W. 2004, An Improved Bus Signal Priority System for Networks With Nearside Bus Stops. 221s.
- Liao, C-F. 2006. Bus Signal Priority Based on GPS and Wireless Communications Phase I -Simulation Study. University of Minnesota, Intelligent transportation systems institute. 44s.
- Liikenne- ja viestintäministeriö, 2001. Joukkoliikenne - houkutteleva valinta. Ohjelmia ja strategioita 2/2001. 28s
- Liikennevalot.info, 2011. [viitattu 15.8.2011]
- Lehtonen, M., Anttila, V. Koskinen, O., Kulmala, R., Pajunen-Muhonen, H., Pesonen, H., Rintanen, J., Ristola T. 2001. Liikennevaloetuuksien ja ajantasaisen tiedotuksen vaikutukset raitiolinjalla 4 ja bissilinjalla 23 Helsingissä. Liikenne- ja viestintäministeriön mietintöja ja muistioita B41/2001. 80s.
- Luttinen, R.T., Ojala, J. 2006. Liikenteen Ohjaus. Liikennetekniikan seminaari 2004-2005. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu 108. 214s.
- Moore, J., Jayakrishnan, R., McNally, M., MacCarley, A., 1999. SCOOT Performance in Anaheim Advanced Traffic Control System, Intellimotion. Research updates in intelligent transportation systems, volume 8 No. 3. ss. 1-2
- Musto, M. 2010. SYVARIN joukkoliikenne-etuuksien vaikutusten arviointi. 76s. [Viitattu 15.8.2011] Saatavilla: <http://www.hel2.fi/liikenteenohjaus/jenka/syvari-vaikutus.asp>
- Myyryläinen, T. 2012. Henkilöhaastattelu 2.2.2012. Tampere, Suomi. Materiaali tekijän hallussa.
- Nash A.B. and Sylvia R. (2001). Implementation of Zürich's Transit Priority Program, Mineta Transportation Institute, San Jose State University, USA. 150s.

- Oinas, J. 2000. Joukkoliikenteen liikennevaloetuksien suunnitteluohje – JOLIVA 2000. Liikenne- ja viestintäministeriön mietintöjä ja muistioita. 47s. [Viitattu 14.7.2011]. Saatavilla: http://www.hel2.fi/liikenteenohjaus/tetra/raportit/Joukkoliikenteen_liikennevaloetuksien_suunnitteluohje.pdf
- Olkkonen, T. 1994. Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön. 2. painos. Espoo, Teknillinen korkeakoulu. 143 s.
- Oulun kaupunki, 2011. Oula-esite, Oulun kaupungin verkkosivut. [viitattu 13.10.2011] Saatavilla: http://www.ouka.fi/tekninen/julkaisut/Esitteet/oula_esite.pdf,
- Pell, J., Sirel, M., Marsden A., Ford, I. and Cobbe, S. 2001. Effect of reducing ambulance response times on deaths from out of hospital cardiac arrest: cohort study. BMJ VOLUME 322, 9 June 2001. ss. 1385-1388
- Pursiainen, H. 2009. Kansallinen älyliikenteen strategia – selvitysmiehen ehdotus. Liikenne- ja viestintäministeriö. 48s.
- Salonen, M. 2010. Joukkoliikenteen valoetuksien toteuttaminen SYVARI-ohjauksella. Liikennevirasto. [Viitattu 24.8.2011]. Saatavilla: http://salonen.info/syvari/SYVARI-ohjekirja_100215.pdf
- Seppänen, J. 2007. Helsingin joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä (Helmi). Helsingin kaupunki, Liikennelaitos. 20s.
- Sihvola, T. 2001. Tampereen SPOT-Toimivuustutkimus. TKK, Liikennelaboratorio. 29s.
- Smith, H., Hemily, B, Ivanovic, M., 2005. Transit signal priority (TSP): A planning and Implementation Handbook. United States department of Transportation. 200s.
- Sane, K. 2010. JENKA – Joukkoliikenne-etuudet jokaiseen kaupunkiin, Loppuraportti. [Viitattu 15.8.2011] Saatavilla: <http://www.hel2.fi/liikenteenohjaus/jenka/loppuraportti.asp>
- Talvi, J. 2011. puhelinhaastattelu 13.10.2011. Tampere, Suomi. Materiaali tekijän hallussa.
- Tiehallinto 2005. Liikennevalojen suunnittelu, LIVASU, Suunnitteluvaiheen ohjaus. 90s.
- Tuominen, J. 2012. Henkilöhaastattelu 2.2.2012. Tampere, Suomi. Materiaali tekijän hallussa.